



# INTRODUCCIÓ A LES ENERGIES RENOVABLES

Materials de l'alumnat

Recull de materials de l'alumnat del curs online "Introducció a les Energies Renovables", impartit pel CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica). Curs reconegut per la Universitat Autònoma de Barcelona de 2008 a 2011 com a crèdits de lliure elecció.

**Víctor López Simó**

**Roser Pintó Casulleras**

**CRE  
CIM**

**UAB**  
Universitat Autònoma  
de Barcelona

Recull de materials de l'alumnat del curs online "Introducció a les Energies Renovables", impartit pel CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica). Curs reconegut per la Universitat Autònoma de Barcelona de 2008 a 2011 com a crèdits de lliure elecció

Autors: Víctor López Simó i Roser Pintó Casulleras

Col·laboradores: Mercè Feliu Hurtado i Laura Sáez García.

Totes les imatges que apareixen han estat obtingudes bancs d'imatges publicades sota Creative Commons o bé aprofitades de les imatges elaborades en el projecte **FIREES** (*Interdisciplinary Training for the Energy-environment-Society Relationship*), finançat per la Comissió Europea i impulsat pel Ministeri de Recerca i Energia de la Regió de Valònia, la Fundació *Ameila da Silva de Melo* de Portugal, l'Institut Català de l'Energia i el Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya.



Aquest document es distribueix sota una llicència Creative Commons Atribució-NoComercial-SenseDerivar 4.0 Internacional

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Com citar aquest document:

López, V. i Pintó, R. (2016). *Introducció a les energies renovables. Materials de l'alumnat*. Universitat Autònoma de Barcelona





## INDEX DE CONTINGUTS DEL CURS

SESSIÓ 1. INTRODUCCIÓ .....	6
1. Que entenem per energia? .....	7
2. L'energia com a recurs .....	9
3. El context econòmic, ecològic i social .....	11
Activitat 1: Exploració dels coneixements previs. ....	14
Activitat 2: Les emissions individuals de CO <sub>2</sub> .....	15
SESSIÓ 2. LA RADIACIÓ SOLAR COM A FONT D'ENERGIA .....	16
1. Què és l'energia del Sol? .....	17
2. Com arriba l'energia procedent del Sol a Catalunya? .....	19
3. Com ens podem servir de la radiació solar? .....	20
4. L'Arquitectura bioclimàtica .....	21
Enllaços d'interès: .....	23
Activitat 1: Anàlisi de la radiació solar a Catalunya .....	24
SESSIÓ 3: L'ENERGIA SOLAR FOTOTÈRMICA .....	25
1. De quina Energia Solar Fototèrmica estem parlant? .....	26
2. Estudi de les característiques i elements d'un circuit .....	27
3. Implantació de l'energia solar fototèrmica a Catalunya .....	32
enllaços d'interès: .....	32
Activitat 1: Estudi de la viabilitat d'una instal·lació solar tèrmica .....	33
SESSIÓ 4: L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÀICA .....	43
1. Fonaments científics i tècnics de l'Energia Solar Fotovoltaica .....	44
2. Estudi dels sistemes Solars Fotovoltaics (FV) .....	48
3. L'energia Solar Fotovoltaica a Catalunya .....	52
Enllaços d'interès: .....	53
Activitat 1: Estudi de l'Efecte fotoelèctric. ....	54
Activitat 2: L'electrificació rural a Catalunya. ....	55
SESSIÓ 5: EL VENT COM A FONT D'ENERGIA, ELS AEROGENERADORS I ELS PARCS EÒLICS .....	56

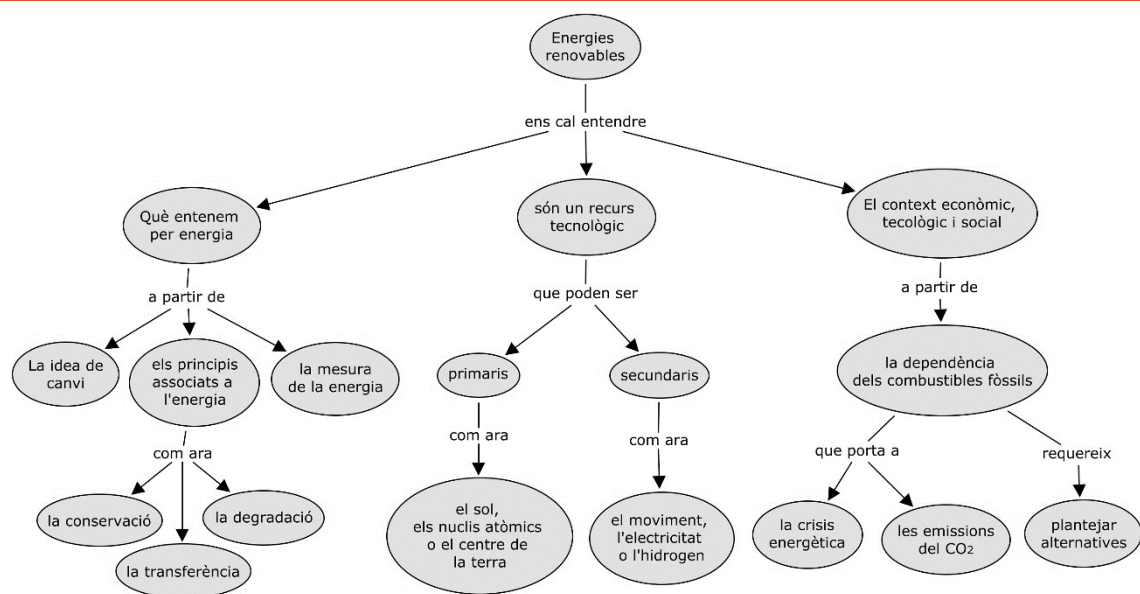


1. Orígens i característiques del vent .....	57
2. Què és un aerogenerador i com funciona? .....	62
3. Què és un parc eòlic i quines són les seves característiques? .....	65
Enllaços d'interès:.....	67
Activitat 1: Demostració de la Llei de Betz. ....	68
Activitat 2: Estudi de la direcció del vent.....	69
Activitat 3: Discussió d'un article sobre la mort d'ocells. ....	70
SESSIÓ 7: ELS BIOCOMBUSTIBLES COM A ENERGIA RENOVABLE.....	71
1. Què és la Biomassa, d'on prové i per a què s'utilitza?.....	72
2. Tipus de biocombustibles i característiques generals .....	75
3. Problemàtiques respecte a l'ús de biocombustibles .....	77
4. Producció i consum de biocombustibles a Catalunya.....	78
enllaços d'interès:.....	79
Activitat: Revisió de diferents notícies i articles d'opinió sobre els biocombustibles. ....	80
SESSIÓ 8: L'HIDROGEN COM A RECURS ENERGÈTIC SECUNDARI .....	81
1. L'hidrogen: un vector energètic.....	82
2. Com obtenim hidrogen com a vector energètic? .....	82
3. Com es pot emmagatzemar i transportar l'Hidrogen? .....	85
4. Com es pot generar electricitat a partir de l'hidrogen? .....	89
Enllaços d'interès.....	92
Activitat 1: Comarem l'H <sub>2</sub> i el gas natural. ....	93
Activitat 2: Generació d'electricitat en una pila de combustible PEM .....	95
SESSIÓ 9: Anàlisi del Cicle de Vida L'ACV i les Energies Renovables .....	97
1. Què és el Cicle de Vida d'un producte i el ACV? .....	98
2. Exemple de ACV relacionat amb el consum energètic .....	100
Enllaços d'interès.....	103
Activitat 1: La unitat funcional i el repartiment de càrregues ambientals .....	104
Activitat 2: Estudi d'un ACV de l'energia necessària per al tractament d'aigües. ....	107





## SESSIÓ 1. INTRODUCCIÓ



## 1. QUE ENTENEM PER ENERGIA?

### 1.1. L'ENERGIA I ELS CANVIS

Des d'un punt de vista físic, l'energia és un concepte molt útil ja que ens permet analitzar una infinitat de fenòmens quotidians. En la nostra vida necessitem disposar d'energia per a tasques molt diferents, i tot i que no podem veure ni sentir-la com a tal, podem observar-ne els seus efectes. L'energia es necessita per fer que els objectes es moguin, que accelerin, que s'escalfin, que facin llum...

Sempre que parlem d'energia, veurem que alhora, parlem de canvis. Ja sigui els electrodomèstics, les bombetes, les maquinàries industrials, els mitjans de transports o qualsevol altre aparell, tots produeixen canvis al seu voltant. Aquests canvis els podem agrupar en tres grans processos, en els quals, parlem de canvis quan:

- es dona moviment als cossos, és a dir, quan es realitza un treball (com ara el motor d'un vehicle a les rodes d'aquest)
- es dona o es rep calor amb l'entorn (per exemple, quan una caldera escalfa l'aigua d'una instal·lació o quan una nevera refreda el seu interior)
- s'emet radiació electromagnètica (tal com succeeix amb una bombeta que il·lumina al seu voltant)

En qualsevol dels casos anteriors, aquests processos només seran possibles si l'aparell en qüestió disposa de l'energia necessària per fer efectius els canvis pertinents. Per tant, aquesta magnitud física s'associa als canvis i ens serveix per explicar-los, tot i que no en sigui la causa directa. Aquest matís pot portar alguna confusió: L'energia no és la causa de l'escalfament de l'aigua en una caldera, ja que la causa de l'escalfament és el fet que hi hagi cossos en contacte a diferent temperatura. Ara bé, l'energia que té la caldera és necessària per escalfar l'aigua, però no és la causa de que l'escalfi.

Per tant, sempre que parlem de demanda energètica o de consum energètic ho farem des d'aquesta concepció d'energia: la magnitud física que serveix per explicar els canvis i que és necessària per que aquests es produeixin.

### 1.2. ELS PRINCIPIS ASSOCIATS A L'ENERGIA.

Un sistema físic és el cos o el conjunt de cossos que pretenem estudiar, i que alhora, cadascun d'ells està format per milers o milions de partícules microscòpiques. Aquest sistema pot estar o no aïllat (si intercanvia o no energia amb l'entorn), i sempre tindrà una certa configuració, i en base a aquesta configuració, li associarem una energia o una altra. Per exemple, la bateria d'un telèfon mòbil té una configuració química quan està carregada, i a mesura que es descarrega varia la seva configuració interna. Per tant, ja no li podem assignar l'energia que hi havia associada a aquesta configuració.

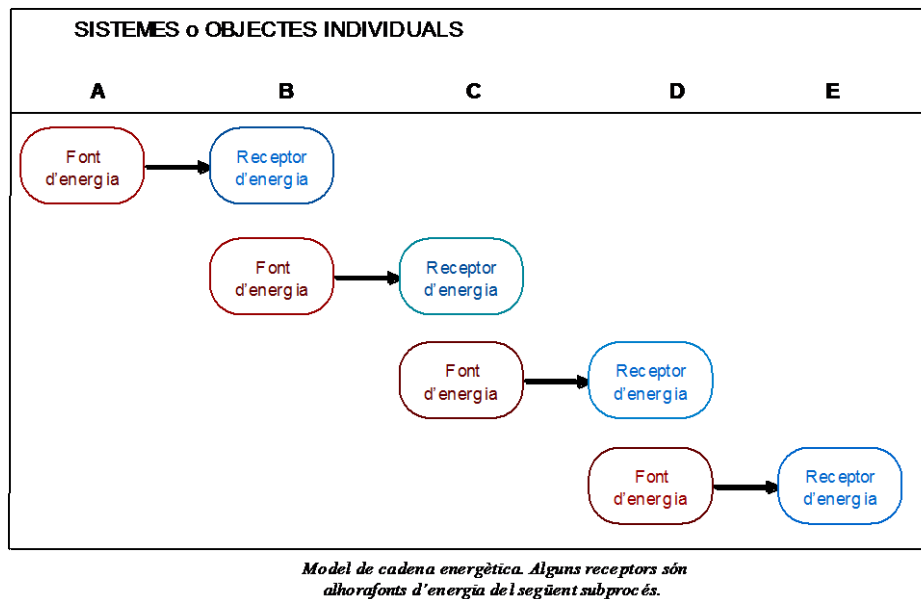
Per estudiar qualsevol procés energètic caldrà tenir en compte tres plantejaments que sempre es compleixen.

#### a) La transferència d'energia.





L'energia no és una substància, sinó una propietat dels sistemes. Ara bé, tot i que entenguem l'energia com una propietat, com que s'acostuma a estudiar l'energia abans i després d'un procés i seguim l'energia associada als sistemes o cossos al llarg d'aquest procés, es parla de transferència. S'acostuma a dir que l'energia s'ha transferit, ja sigui d'un sistema a un altre o d'una part d'un sistema a una altra part. En una transferència d'energia hi ha un sistema que proporciona l'energia i un altre que la rep. El sistema que transmet o transfereix energia a l'altra es sol anomenar **font d'energia**. Del sistema que rep l'energia proporcionada pel primer se l'anomena el **receptor d'energia**. En una cadena energètica el receptor és alhora font d'energia d'un altre procés de transferència, tal com indica l'esquema:



Aquesta transferència es produeix a través de tres mecanismes diferents que podem observar i mesurar, i que són el treball, la calor i la radiació. Tot i així, aquest tercer procés (la radiació) alguns autors la interpreten com una combinació dels dos primers mecanismes, ja que la variació dels camps electromagnètics es pot explicar com el treball vinculat a les càrregues electromagnètiques.

#### **b) La conservació de l'energia.**

En qualsevol procés, és a dir, en qualsevol canvi que es produeix en un sistema, l'energia es conserva si el sistema està aïllat. L'energia no apareix del no res (es crea) ni desapareix (es destrueix), sinó que la suma total d'energia que hi ha abans i després d'un canvi ha de ser la mateixa. Ara bé, com que en la majoria de situacions quotidianes treballem amb sistemes oberts (és a dir, que intercanvien matèria i energia amb l'entorn) hi haurà part de l'energia que es transfereix a l'entorn, i per tant, es sol dir que s'ha perdut energia o que s'ha guanyat. Si tornem a l'exemple de la bateria del mòbil, l'energia que s'ha perdut l'hauríem de buscar en el subtil escalfament que han experimentat les antenes telefòniques i els cossos que han estat en contacte amb l'aparell.

#### **c) La degradació de l'energia.**

Com ja hem dit, l'energia possibilita els canvis. Ara bé, no tota l'energia té la mateixa capacitat de produir canvis. Al llarg d'un procés, de la mateixa manera que l'energia es conserva, també es degrada, i deixa de ser útil. En el cas de la bateria del mòbil, passem de tenir una energia emmagatzemada en una configuració química (útil), que ens permet rebre i fer trucades telefòniques. Quan la bateria s'ha gastat,

part de l'energia s'ha dissipat escalfant el mòbil, la nostra orella, i una altra part s'ha dissipat generant ones electromagnètiques que s'han repartit per l'espai. Per tant, l'energia final està dispersada i no serà útil per generar nous canvis; és a dir, l'energia s'ha degradat. En el llenguatge quotidià es diu que l'energia s'ha gastat o que s'ha consumit.

---

### 1.3. COM MESUREM L'ENERGIA?

En el sistema internacional, l'Energia es mesura en Joules, i per tant, s'abreua amb la lletra J. Com que l'Energia és necessària per moure objectes (és a dir, desplaçar objectes fent alguna força), i per tant, realitzar treballs, podem dir que un Joule és l'energia necessària per moure 1kg de massa aplicant-li 1N de força al llarg d'un metre.

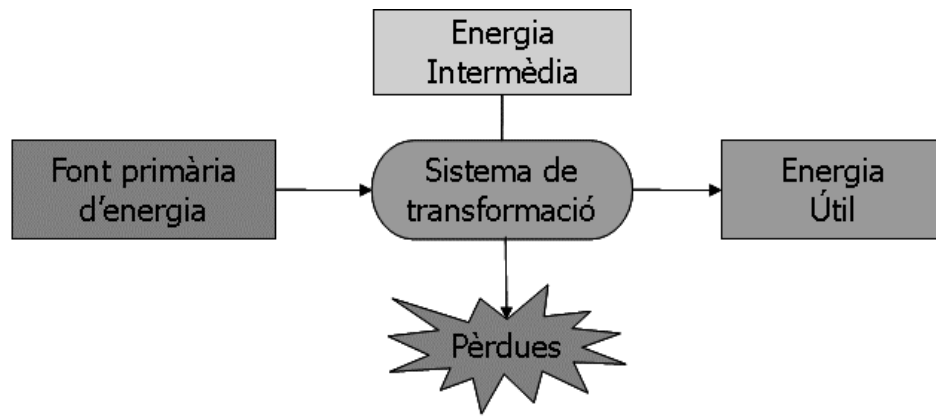
Ara bé, com que l'energia també és necessària per aplicar calor a un cos, una altra unitat molt recurrent per mesurar l'energia són les calories. Una caloria és l'energia necessària per escalfar un gram d'aigua des dels 14,5°C fins als 15,5°C. Una caloria equival a 4,18 J.

La potència és la velocitat amb que es transfereix energia (tant per rebre'n com per donar-ne), i es mesura en Watts (W). Un electrodomèstic que consumeix 500 J cada segon té una potència de 500W. Per tant, quan mesurem l'energia total que s'ha transferit al llarg d'un procés finit es té en compte la potència amb que es transfereix energia però també el temps que dura aquest procés. Per tant, el consum energètic sovint no es mesura en Joules, sinó en kWh, és a dir, en el nombre de kW que s'han transferit en una hora. Un kWh equival a 3.600.000 J.

## 2. L'ENERGIA COM A RECURS

Des d'un punt de vista tecnològic, l'estudi de l'energia es centra en conèixer i optimitzar els mecanismes que permeten als recursos energètics proporcionar-nos energia, transferir-la i consumir-la. Tots aquests mecanismes s'integren en les anomenades cadenes energètiques. Com que l'energia i la seva transferència s'associa a fenòmens molt diferents (moviment de motors, màquines i engranatges, electricitat, reaccions químiques, enviament i recepció de senyals...) des de la tecnologia es parla de transformacions de l'energia: En una pila, s'acostuma a dir que "l'energia química es transforma en energia elèctrica", o i alhora, "l'energia elèctrica es transforma en energia lluminosa" quan s'encén una bombeta. En realitat, aquestes etiquetes que se li donen a l'energia són arbitràries des del punt de vista de la física, però poden ser útils quan no estudiem l'energia en sí sinó els mecanismes tecnològics que hi ha al darrera.

L'objectiu d'un disseny d'un procés tecnològic vinculat a l'obtenció, la transferència i el consum d'energia és la reducció de les pèrdues energètiques per tal de millorar el rendiment de la cadena energètica, així com l'optimització del costos i materials en els mecanismes que estan implicats en aquesta cadena. Per abordar aquest estudi, es parla al menys de tres fases en qualsevol transferència energètica. Per parlar de cadascuna d'aquestes fases es parla de: l'energia primària (que procedeix directament de la font energètica sense haver sofert cap transformació); l'energia intermèdia (associada als mecanismes de transport, emmagatzematge i distribució) i l'energia final (vinculada als mecanismes de consum).



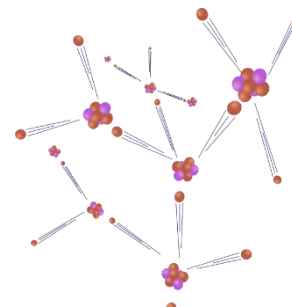
---

## 2.1. ELS RECURSOS ENERGÈTICS PRIMARIS.

Pel que fa a les fonts o recursos a partir de les quals podem obtenir energia, trobem:

**a) El sol:** El Sol és l'origen de la majoria de fonts primàries d'energia, ja sigui de manera directa o indirecta. Les fusions nuclears que es produeixen en el sí de l'estrella desprenen gran quantitat d'energia que ens arriba a la Terra en forma d'un ample espectre de radiacions electro-magnètiques (rajos gamma, rajos x, ultraviolats, llum visible, infrarojos i microones). La major part d'aquesta radiació és reflectida per l'atmosfera terrestre, però tot i així, una bona part dels rajos arriben a la superfície terrestre. Aquests rajos produeixen l'escalfament de l'aigua i l'aire, i per tant, possibiliten els fenòmens climatològics que després seran aprofitats en forma de recursos energètics (els embassaments, els rius, el vent, les ones del mar...). Al mateix temps, l'energia que la radiació solar aporta serveix als éssers vius per al seu creixement, tant de manera directa (el plàncton vegetal, les algues i les plantes terrestres) com de manera indirecta, ja que la resta d'éssers vius que es nodreixen d'aquestes plantes. Per tant, en aquest cas el Sol també es pot considerar com l'origen de la biomassa actual i, alhora, de la biomassa fòssil en forma de petroli, gas o carbó. Finalment, el Sol també és una font d'energia a temps real que pot ser aprofitada per escalfar aigua, aclimatar edificis o produir electricitat mitjançant plaques fotovoltaïques.

**b) Els materials radioactius:** Una segona font energètica de que disposa el nostre planeta és aquella que prové dels nuclis atòmics dels materials radioactius. Aquests materials (Urani, Plutoni, Cesi...) tenen una configuració nuclear poc estable, i per tant, alguns àtoms tendeixen a fissionar-se (trencar-se) desprenent gran quantitat d'energia. Alhora, en una reacció nuclear també es desprenen partícules (alfa i beta) que poden desestabilitzar altres nuclis i generar perilloses reaccions en cadena, motiu pel qual és tant important mantenir un estricte control dels materials radioactius.



**c) L'energia de la Terra:** El nucli de la Terra es manté, des de la seva creació, a enormes temperatures. Al mateix temps, el moviment de les plaques continentals produeix fenòmens geològics que poden ser utilitzats com a font d'energia, tal i com succeeix amb l'escalfament natural de les aigües en països propers a les dorsals oceàniques (com Islàndia o Japó).

---

## 2.2. ELS RECURSOS ENERGÈTICS SECUNDARIS.

L'energia primària que s'obté d'aquestes fonts gràcies a diferents processos tecnològics d'obtenció (que analitzarem al llarg del curs) es transfereix mitjançant mecanismes molt variats. Des de la tecnologia s'anomena energia intermèdia a aquella associada al conjunt de mecanismes, que podem agrupar en:

**a) L'energia del moviment:** Mentre les societats no han dominat l'electricitat tots els mecanismes de transport energètic han estat vinculats al moviment. D'aquesta manera, s'han desenvolupat mecanismes de transmissió d'energia del moviment gràcies a les politges, els engranatges, les palanques o les màquines hidràuliques, per exemple.

**b) L'electricitat:** El domini d'aquesta ha suposat una gran revolució, ja que ha permès transportar l'energia des de les centrals elèctriques fins als centres de consum. Ara bé, un dels principals problemes d'aquest mecanisme de transport és que pràcticament no es pot emmagatzemar i que hi ha moltes pèrdues per l'escalfament dels conductors (efecte Joule).

**c) L'hidrogen:** Cada vegada hi ha més interès en dominar l'hidrogen com a vector energètic, és a dir, com a mecanisme de transport energètic. Aquest element químic no és una font primària d'energia, ja que a la natura no n'hi ha prou per satisfer la demanda energètica actual, i a més a més, és difícil d'obtenir directament. Ara bé, a partir de canvis químics es pot obtenir hidrogen, que pot ser transportat i consumit en altres indrets, obtenint així energia útil.

### 3. EL CONTEXT ECONÒMIC, ECOLÒGIC I SOCIAL.

Arrel de la revolució industrial (durant el s. XIX) la gran demanda d'energia per al consum domèstic i industrial va portar al desenvolupament de tecnologies destinades a l'obtenció, transport i consum d'energia vinculada als combustibles fòssils, ja que aquests recursos eren gratuïts i fàcilment abastables. Avui, la major part dels recursos que necessitem per a la nostra vida diària (aigua calenta, cuina, llum, electricitat, transport, calefacció...) provenen dels combustibles fòssils i els seus derivats, ja sigui en forma de gas natural (metà i butà), de petroli (dièsel, benzina...) o del carbó. Països com el nostre tenen una forta dependència d'aquests combustibles fòssils, i això té una sèrie d'implícacions, que resumim a continuació.

---

#### 3.1. LA CRISI ENERGÈTICA

Els combustibles fòssils dels quals obtenim energia actualment han trigat milions d'anys en arribar a l'estat actual. Per tant, al consumir-los en pocs centenars d'anys s'està utilitzant un recurs a un ritme molt superior a la capacitat que té el nostre planeta de generar-lo. Potser els combustibles fòssils s'acabaran en els propers anys com pronostiquen alguns estudis, però sí que tenen una data de caducitat, que tot i que desconeguem, ens ha de fer pensar que cal trobar alternatives viables. El que sí que s'està constatant en els darrers anys és que cada vegada serà més complex i costós l'accés als pous de petroli i de gas, ja que els més accessibles comencen a exhaurir-se.

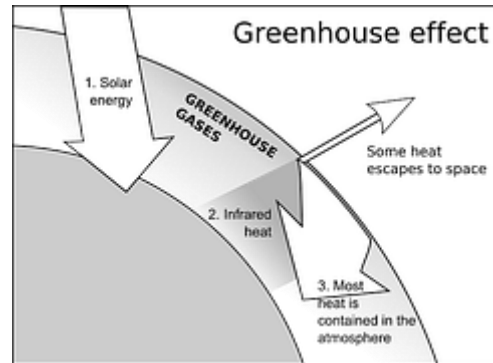
---

#### 3.2. LES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>.

Un altre dels elements a tenir en compte en quan a l'ús dels combustibles fòssils és la gran quantitat d'emissions de Diòxid de Carboni que es generen. Cada vegada hi ha més consens entre la comunitat



científica en que una alta concentració de  $\text{CO}_2$  a l'atmosfera pot propiciar l'efecte hivernacle en la superfície del nostre planeta, i per tant, produir un escalfament global. Tot i que hi ha qui insisteix que actualment no es disposa de la perspectiva històrica necessària per afirmar que s'està produint un canvi climàtic, hi ha nombrosos indicis de que així està succeint, i de produir-se, comportaria un seguit de canvis, com ara el desglaçament, el lleuger increment del nivell del mar o canvis en els comportaments d'alguns essers vius, incloent-hi la propagació d'epidèmies.



### 3.3. LES ENERGIES RENOVABLES EN AQUESTA CONJUNTURA

Abordar aquest conjunt de problemàtiques (tant la dependència dels combustibles fòssils com l'efecte de les emissions de gasos com el Diòxid de Carboni) és una qüestió bastant transcendental per a les generacions presents i futures. Es tracta d'una qüestió molt complexa, ja que hi intervenen molts factors i molts interessos diferents, però sobretot, perquè no hi ha cap solució senzilla a gran escala i a curt termini. Les alternatives als combustibles fòssils són molt variades, però cap d'elles per si sola pot suplir la demanda actual d'energia.

Per un costat, hi ha qui aposta per l'energia nuclear. Aquesta energia no emet gasos vinculats a l'efecte hivernacle, però en canvi, produeix residus nuclears que si no estan molt ben controlats, poden ser molt perillosos. A més a més, la font primària necessària (l'Urani principalment) també és un recurs finit, i per tant, tampoc es pot considerar un recurs renovable.

Per un altre costat, existeixen les anomenades energies renovables, que són el conjunt de mètodes d'obtenció d'energia on els recursos es consumeixen al mateix ritme que es produeixen, i per tant, són una possible de solució als mètodes convencionals. Algunes d'elles es basen en la captació directa de la radiació solar (amb totes les seves variants que veurem al llarg del curs) i d'altres en la captació de l'energia que prové de diferents fenòmens geològics i climàtics (eòlica, hidràulica, mareomotriu i geotèrmica). Aquestes fonts d'energia són netes, ja que no produeixen residus, tot i que alhora són intermitents i tenen un rendiment molt més baix que l'energia nuclear o la vinculada als combustibles fòssils.

En els darrers anys, a més a més, s'està apostant per l'ús d'energia procedent de la biomassa, com en el cas dels agrocombustibles o dels purins i els residus sòlids urbans. En aquests casos, tot i que també hi ha una emissió de  $\text{CO}_2$ , aquesta es considera equivalent al gas que es consumeix per la generació de la biomassa, i per tant, s'arriba a una situació estacionària que no influeix en la concentració d'aquest gas a l'atmosfera. Tot i tractar-se d'una energia neta i amb un gran potencial, si no s'administra adequadament, es corre el risc de destinar una part important de la producció agrícola actual (soja, blat, blat de moro...) a la producció d'agrocombustibles. En els darrers anys això ha succeït en alguns països productors d'aquestes matèries primeres, i s'ha constatat el perill de deixar als sectors més desfavorits econòmicament d'aquests països fora de l'accés a l'aliment per la pujada de preus, reforçant així el risc de crisi alimentària.



Des del punt de vista polític, tot i que hi ha opinions molt divergents, cada vegada hi ha més gent que aposta per no invertir en els recursos energètics a gran escala, sinó que hi hagi petits centres d'obtenció d'energia per a que cadascú generi l'energia per a les seves necessitats. Fins i tot hi ha qui aposta pel decreixement energètic com la única solució viable a la crisi energètica i al canvi climàtic. Aquest decreixement passaria per canviar dràsticament l'estil de vida occidental, recuperant els mètodes tradicionals d'obtenció de l'energia i reduint la petjada ecològica que produïm sobre el nostre planeta, renunciant a la majoria de comoditats de les que disposem actualment.

En qualsevol dels casos, ens trobem davant d'un repte complex, on hi ha en joc la convivència entre els individus i les societats, l'equilibri biològic i climàtic del planeta i el desenvolupament econòmic i el benestar de les persones. Possiblement, part de la solució passa per anar modificant alguns dels hàbits de consum que tenim, alhora que hi ha d'haver apostes col·lectives per trobar mecanismes més eficients energèticament, com ara el transport públic o l'arquitectura bioclimàtica. També és important l'aposta per la innovació científica i tecnològica i l'aposta per dinàmiques socials més democràtiques i participatives que permetin a totes les societats fer prevaldre els interessos col·lectius davant dels individuals. A més a més, cal anar trobant un equilibri territorial en la producció d'energia, a partir de mecanismes eficaços que permetin a cada llar produir el màxim possible d'energia per tal de reduir la dependència a la xarxa. Per acabar, possiblement calgui acostar la producció energètica als centres de consum (amb petites centrals de biomassa, centrals mini-hidràuliques, aerogeneradors...) per fer més viable el consum energètic.

Al llarg d'aquest curs veurem les característiques d'alguns dels processos tecnològics ideats per a l'obtenció i el transport d'energia, centrant-nos en aquells dissenyats per a les energies renovables.

ACTIVITAT 1: EXPLORACIÓ DELS CONEIXEMENTS PREVIS.

**Objectius:** Fer una primera exploració entorn als coneixements, les idees i les concepcions que té cadascú respecte l'ús d'energies, tant convencionals com alternatives, tenint en compte les característiques de cada mètode d'obtenció.

A partir de les teves idees i del que hagi sentit a l'escola, la universitat, a la feina o als mitjans de comunicació, completa la següent taula amb les diferents mètodes d'obtenció d'energia que coneixes, i una petita explicació (una o dues frases) per cadascun dels apartats que hi ha a la taula.

[illegible]

## ACTIVITAT 2: LES EMISSIONS INDIVIDUALS DE CO<sub>2</sub>.

**Objectius:** Conèixer la quantitat de diòxid de carboni que cadascú emet degut al ritme de vida quotidià, sospesar la seva magnitud i explorar quines possibilitats existeixen per tal de minimitzar aquestes emissions.

Per tal de realitzar el càlcul d'emissions de CO<sub>2</sub> cal que coneguem el consum que realitzem d'electricitat, aigua, gas natural i combustible per al transport, per tant, és recomanable que disposeu de les factures dels darrers mesos pel què fa a aquests serveis. Sinó és així, podeu fer els càlculs de forma aproximada, considerant que:

- El consum mitjà mensual d'electricitat per persona és d'uns 148 kWh/mes.
- El consum mitjà mensual de gas natural per calefacció per persona és d'uns 60 m<sup>3</sup>/mes.
- El consum mitjà mensual per persona d'aigua és de 100 litres al dia (segons AGBAR).

En la pàgina web <http://www.ceroco2.org/calcular/Default.aspx> podeu omplir el formulari que us presenten. Un cop emplenades i enviades les dades per al càlcul, fixeu-vos que no sols us informen de la quantitat de CO<sub>2</sub> consumida, que sol ser de l'ordre de les tones, sinó que a més us informen de com podríeu estalviar seguint un plegat de recomanacions.

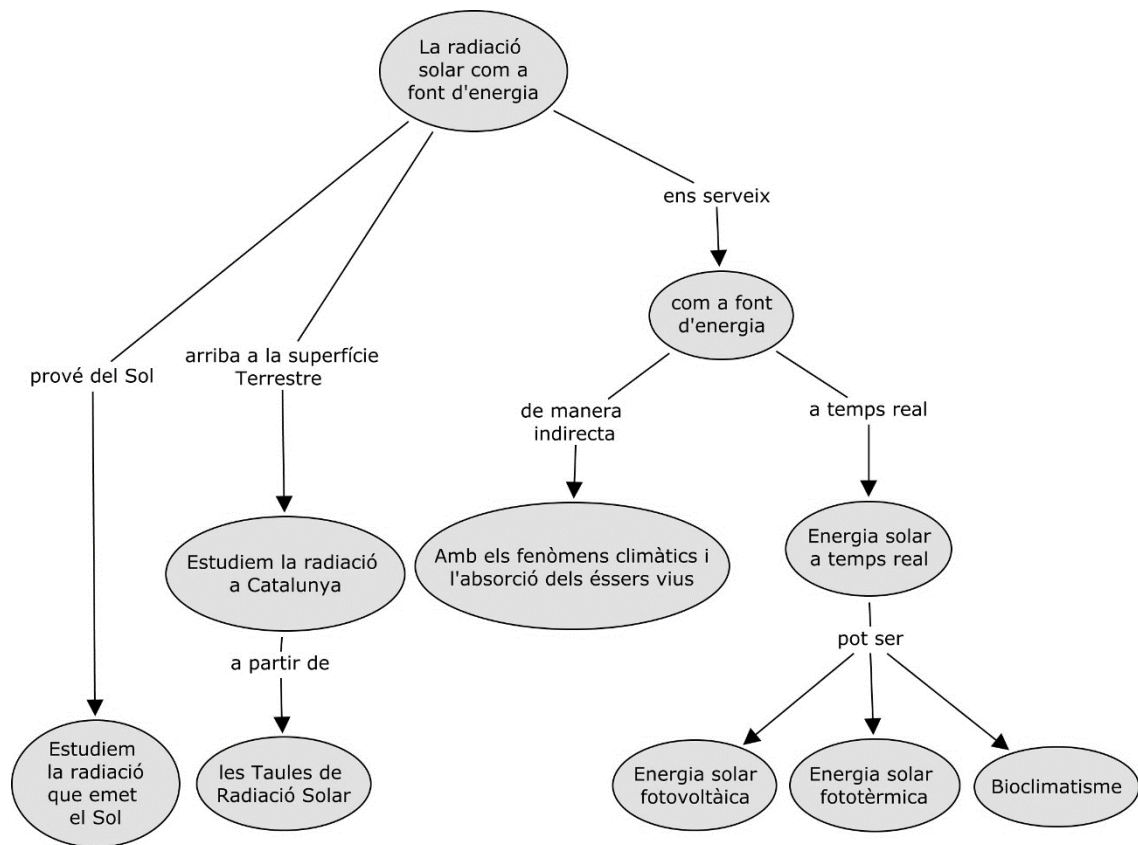
Segons CENEAM (Centro Nacional de Educación Ambiental), a l'Estat Espanyol cada persona emet 6,7 tones de CO<sub>2</sub>/any de mitjana. Per compensar l'emissió de cada tona de CO<sub>2</sub> caldria plantar 3 arbres.

1. Quin és el consum anual per persona que heu obtingut? És major o menor del que ha calculat el CENEAM? Com relaciones aquest valor amb els teus hàbits de vida?
2. Quina de les recomanacions que apareixen en aquesta web t'ha cridat més l'atenció i perquè?





## SESSIÓ 2. LA RADIACIÓ SOLAR COM A FONT D'ENERGIA

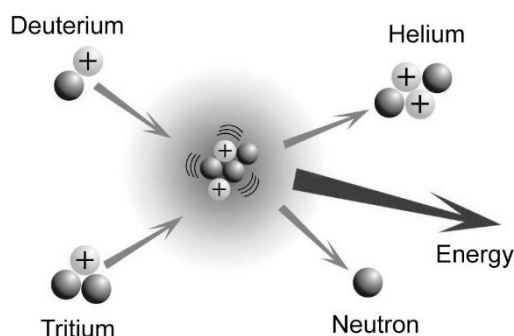


## 1. QUÈ ÉS L'ENERGIA DEL SOL?

El Sol és sens dubte una de les principals fonts d'energia del nostre planeta. L'energia del es pot considerar una font inexhaustible a escala humana, ja que segons tots els càlculs el temps de vida del Sol serà molt major que el temps de vida del nostre planeta.

### 1.1. D'ON PROVÉ AQUESTA ENERGIA?

En la superfície del Sol s'estan produint constantment reaccions de fusió nuclear en les que es desprèn una gran quantitat d'energia que s'allibera en forma de radiació electromagnètica. Les reaccions de fusió nuclear es produeixen quan xoquen els nuclis atòmics d'hidrogen solar (els isòtops de l'hidrogen s'anomenen deuteri i triti), de manera que els protons i neutrons es fusionen convertint-se en àtoms d'heli.



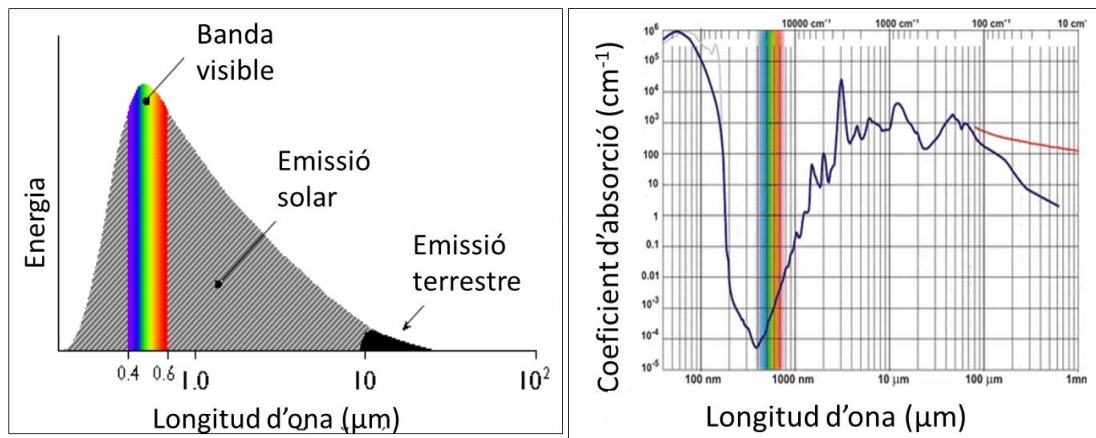
A conseqüència d'aquestes reaccions nuclears el Sol allibera cada segon una energia d'uns  $3,9 \cdot 10^{24} \text{ J}$  en forma de radiació, que es propaga per l'espai il·luminant i escalfant tot el sistema solar. Al planeta Terra tan sols n'arriba una ínfima part d'aquesta energia i, de mitjana, a cada  $\text{m}^2$  de superfície terrestre n'hi arriben uns  $1300 \text{ J}$  d'energia cada segon. Per això es diu que la Intensitat de radiació de la superfície de la terra és d'uns  $1,3 \text{ kW/m}^2$ . Ara bé, de tota aquesta radiació la major part mai arribarà a la superfície de la terra, ja que les diferents capes de l'atmosfera reflecteixen i n'absorbeixen entre el 60% i el 70%. Quan parlem de radiació solar parlarem principalment de la radiació solar directa (la que ens arriba directament del Sol en els dies solejats) però també de la radiació solar difosa (ens arriba a través de les múltiples reflexions que es produeixen amb les partícules de l'atmosfera) i de l'albedo (la radiació que es reflexa en la superfície de la terra, especialment en les zones nevades).

### 1.2. QUIN TIPUS DE RADIACIÓ ENS ARRIBA?

L'energia que el Sol allibera arriba al planeta Terra en forma de radiació Electromagnètica. Ara bé, de radiació electromagnètica n'hi ha de molts tipus (ones de ràdio, microones, infrarojos, llum visible, ultraviolats, rajos X i rajos Gamma) i junts conformen l'Espectre Electromagnètic. El Sol emet radiació de tots els tipus, però els rajos provinents del Sol més intensos (és a dir, d'aquells que n'emet en major quantitat) són els visibles per a l'ull humà (imatge de l'esquerra). A més a més, també és la radiació visible la que travessa amb més facilitat l'atmosfera, ja que és en aquestes longituds d'ona on el coeficient d'absorció electromagnètica de l'atmosfera és més baix (imatge de la dreta).



Per tant, la radiació solar que rebem és principalment llum visible (entre , és a dir, aquella que il·lumina i escalfa la superfície de la terra. De totes maneres, el Sol també emetrà radiacions amb freqüència més alta (com rajos ultraviolats o rajos X), i tot i que l'atmosfera ens protegeixi parcialment d'ells, és important protegir-nos-hi.



### 1.3. COM INTERACCIONA AQUESTA RADIACIÓ AMB EL NOSTRE PLANETA?

La radiació solar incident en la Terra interacciona física i químicament amb la matèria que hi ha a la superfície de la Terra. Aquesta energia provinent del Sol és la que possibilita els fenòmens de transport sobre les masses d'aigua i d'aire que es manifesten com a corrents marines i fluvials, onades i vents. Així, es constitueixen formes d'energia cinètica i potencial susceptibles de ser explotades com veurem en les sessions 5 i 6 d'aquest curs.

Els vegetals aprofiten una petita fracció de l'energia solar interceptada per la Terra per utilitzar-la en la síntesis de matèria orgànica (fotosíntesis) donant lloc a la biomassa. Els éssers autòtrofs com els vegetals utilitzen directament l'energia solar per al seu creixement, i a més a més, serveixen com a aliment per als éssers heteròtrofs (com els animals). Per tant, gràcies al Sol no només trobem la biomassa actual, sinó que l'acumulació de les restes de matèria orgànica, en absència d'oxigen, provoca una descomposició que pot donar lloc a productes combustibles de tipus hidrocarbonats en estat sòlid (carbons), líquid (petroli cru) o gas (gas natural), conjunt conegut genèricament com a combustibles fòssils.

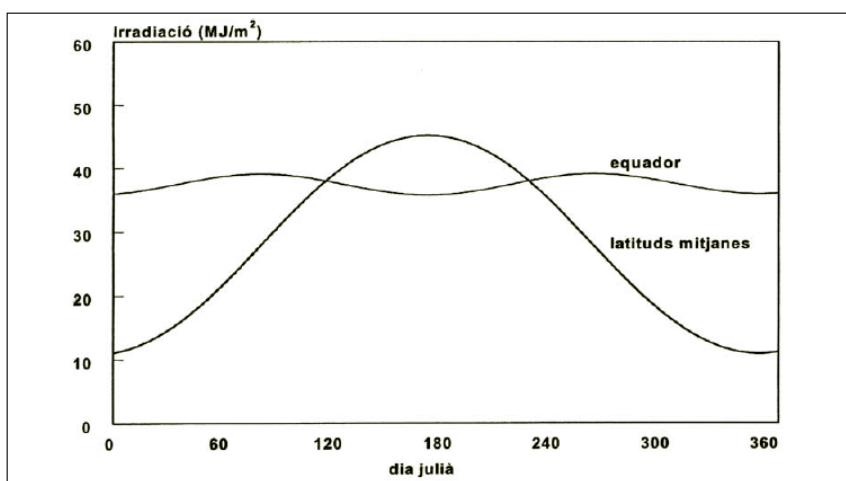
A més a més, una part important de la radiació incident en la superfície simplement s'absorbeix en l'escorça terrestre i s'escalfa. Al escalfar-se, la superfície terrestre torna a emetre l'energia absorbida en forma de rajos infrarojos. En aquest procés, l'energia útil que ens arriba del Sol passa a ser energia degradada, ja que els rajos infrarojos que emet posteriorment la superfície terrestre no porten associada una energia lliure que possibiliti els mateixos fenòmens que permet la llum solar.

Si considerem la suma total d'energia que arriba a la superfície terrestre, aquesta podria ser suficient per cobrir les demandes energètiques que té actualment la humanitat. Ara bé, aquesta energia no és 100% aprofitable. Per un costat, la radiació arriba repartida per tota la superfície terrestre, i per tant, no arriba concentrada en centrals receptores. A més a més, el rendiment en l'aprofitament d'energia solar és relativament baix, ja que com veurem en les properes sessions, hi ha una part important de pèrdues en

el procés de captació. Tot i així, en les darreres dècades s'han fet grans avenços en el disseny de sistemes i de materials que possibiliten aquesta absorció.

## 2. COM ARRIBA L'ENERGIA PROCEDENT DEL SOL A CATALUNYA?

Tot i que la radiació solar que arriba a la Terra és pràcticament constant al llarg del temps (recordem que està mesurada en  $1,3\text{kW/m}^2$  de mitjana), la intensitat que arriba a cada indret de la superfície de la Terra varia substancialment en funció de la latitud, de l'època de l'any i de les condicions atmosfèriques que hi hagi (un dia ennuvolat d'hivern arriba deu vegades menys intensitat que un dia solejat d'estiu). Catalunya es troba en una latitud mitjana, i per tant, la radiació solar és substancialment diferent a l'estiu que en hivern (Imatge inferior).



Amb l'objectiu d'estudiar aquesta intensitat, l'Institut Català d'Energia (ICAEN) publica l'Atlas de Radiació Solar de Catalunya. En aquest atlas es presenta amb precisió les dades corresponents a la radiació global i difusa rebuda en diferents localitats del territori català. L'Atlas presenta les dades de 83 estacions de la Xarxa Radiomètrica de Catalunya. Aquest treball s'inicià l'any 1982 i l'última actualització és de l'any 2000.

En aquest Atlas es presenten les taules de radiació solar global horària i diària, és a dir, la suma de la radiació directa més la difusa i l'albedo al llarg d'una hora i al llarg d'un dia per cada metre quadrat. L'energia total que es rep en una hora a través de la radiació solar es defineix com la Irradiació Global horària, i es mesura en  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{hora})$ . De la mateixa manera, la Irradiació Global diària és el còmput total d'energia transferida al llarg d'un dia, i es mesura en  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ . Aquestes dades han estat calculades a partir de la mitjana de tots els dies de cada mes.

Les taules que apareixen en l'Atlas contenen el valor de la radiació en funció de l'angle amb que estan exposades les superfícies receptores de radiació. Per un costat hi ha la inclinació respecte el pla horitzontal, i per l'altre costat, hi ha l'orientació respecte el sud, que es mesura amb l'angle azimutal. Aquest angle és el que formen entre la projecció dels raigs solars sobre el pla tangent a la superfície terrestre i el sud geogràfic. És a dir, quan el Sol està exactament en el sud geogràfic correspon a l'azimut  $0^\circ$ , i indica el migdia solar. Cal tenir en compte que el migdia solar, (12:00 hora solar), s'aproxima a les 13:00 h del nostre horari oficial al hivern i a les 14:00 h a l'estiu.



A continuació podem observar algunes d'aquestes taules, corresponents a l'estació de Lleida-Raimat:

Orientació: 0°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Annual
0°	4,92	8,28	13,22	18,64	22,92	24,94	24,13	20,65	15,54	10,14	5,90	3,99	14,47
5°	5,41	8,97	14,00	19,26	23,28	25,14	24,41	21,17	16,31	10,90	6,46	4,40	15,00
10°	5,87	9,60	14,71	19,79	23,49	25,18	24,53	21,58	16,99	11,59	6,99	4,78	15,45
15°	6,31	10,18	15,33	20,21	23,56	25,07	24,50	21,86	17,56	12,21	7,49	5,14	15,81
20°	6,71	10,70	15,86	20,50	23,49	24,80	24,32	22,05	18,03	12,77	7,94	5,47	16,08
25°	7,07	11,16	16,29	20,67	23,34	24,39	24,03	22,10	18,38	13,25	8,35	5,78	16,26
30°	7,39	11,56	16,63	20,71	23,05	23,92	23,65	22,01	18,63	13,65	8,71	6,04	16,35
35°	7,67	11,88	16,86	20,62	22,63	23,31	23,12	21,79	18,75	13,96	9,02	6,28	16,34
40°	7,90	12,13	16,99	20,41	22,06	22,56	22,45	21,43	18,77	14,19	9,27	6,48	16,24
45°	8,08	12,31	17,01	20,07	21,37	21,66	21,64	20,95	18,67	14,33	9,47	6,63	16,03
50°	8,22	12,42	16,93	19,61	20,54	20,64	20,70	20,33	18,45	14,39	9,61	6,75	15,73
55°	8,31	12,44	16,75	19,04	19,59	19,50	19,64	19,59	18,12	14,36	9,69	6,83	15,33
60°	8,35	12,40	16,46	18,35	18,53	18,28	18,46	18,74	17,68	14,23	9,71	6,87	14,85
65°	8,33	12,27	16,07	17,55	17,40	17,04	17,29	17,77	17,13	14,03	9,68	6,87	14,29
70°	8,27	12,07	15,59	16,65	16,23	15,71	16,02	16,70	16,48	13,73	9,58	6,82	13,66
75°	8,15	11,80	15,01	15,65	14,97	14,30	14,66	15,61	15,73	13,35	9,43	6,74	12,95
80°	7,99	11,46	14,35	14,58	13,62	12,81	13,23	14,42	14,89	12,90	9,22	6,61	12,17
85°	7,78	11,05	13,59	13,46	12,21	11,31	11,73	13,16	13,96	12,36	8,95	6,45	11,33
90°	7,52	10,57	12,76	12,27	10,74	9,89	10,31	11,83	12,95	11,75	8,63	6,24	10,45

Orientació: 60°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Annual
0°	4,92	8,28	13,22	18,64	22,92	24,94	24,13	20,65	15,54	10,14	5,90	3,99	14,47
5°	5,16	8,62	13,61	19,00	23,10	25,04	24,27	20,93	15,93	10,52	6,18	4,20	14,74
10°	5,39	8,92	13,98	19,26	23,20	24,98	24,28	21,16	16,23	10,83	6,44	4,38	14,95
15°	5,60	9,17	14,27	19,43	23,20	24,90	24,24	21,26	16,51	11,09	6,68	4,55	15,10
20°	5,77	9,40	14,48	19,56	23,09	24,66	24,06	21,32	16,68	11,31	6,88	4,69	15,19
25°	5,91	9,58	14,65	19,57	22,94	24,37	23,84	21,28	16,76	11,49	7,04	4,80	15,21
30°	6,03	9,70	14,75	19,50	22,65	23,98	23,49	21,10	16,83	11,60	7,16	4,90	15,17
35°	6,12	9,77	14,77	19,39	22,29	23,45	23,04	20,92	16,79	11,64	7,26	4,97	15,06
40°	6,18	9,80	14,70	19,16	21,88	22,93	22,57	20,61	16,65	11,62	7,33	5,02	14,89
45°	6,21	9,80	14,58	18,81	21,32	22,26	21,95	20,19	16,44	11,58	7,36	5,05	14,65
50°	6,21	9,74	14,42	18,46	20,71	21,50	21,25	19,72	16,20	11,48	7,34	5,04	14,36
55°	6,17	9,62	14,18	18,02	20,06	20,75	20,55	19,20	15,88	11,30	7,29	5,01	14,02
60°	6,10	9,45	13,85	17,47	19,30	19,88	19,73	18,56	15,46	11,07	7,19	4,95	13,60
65°	5,99	9,23	13,44	16,82	18,44	18,92	18,81	17,81	14,94	10,77	7,06	4,86	13,11
70°	5,85	8,97	13,03	16,21	17,64	18,01	17,95	17,12	14,44	10,44	6,89	4,75	12,62
75°	5,70	8,70	12,56	15,51	16,73	17,01	16,98	16,32	13,87	10,09	6,71	4,63	12,08
80°	5,52	8,37	12,02	14,73	15,73	15,93	15,93	15,43	13,23	9,68	6,49	4,48	11,48
85°	5,32	8,01	11,42	13,90	14,81	14,95	14,98	14,56	12,51	9,21	6,24	4,32	10,86
90°	5,08	7,60	10,77	13,11	13,84	13,90	13,96	13,68	11,81	8,70	5,96	4,13	10,22

### 3. COM ENS PODEM SERVIR DE LA RADIACIÓ SOLAR?

Tal com hem exposat, es poden trobar mostres de l'aprofitament de la radiació del Sol de manera indirecta en una gran quantitat de fenòmens, tant climàtics com biològics. De totes maneres, a continuació ens centrarem en conèixer quines són les tecnologies per captar l'energia procedent del Sol d'una manera directa i a temps real. Per a fer-ho, classifiquem aquestes tècniques en tres grans grups, que són les que corresponen a captar l'energia solar per a finalitats tèrmiques, les corresponents a captar l'energia solar

per a la producció d'electricitat i les que tenen per finalitat aprofitar l'energia directa del sol a través de l'arquitectura.

Quan la radiació electromagnètica incideix sobre un material qualsevol, una part de la configuració d'aquest material es modifica. Els electrons, situats en l'escorça dels àtoms, són susceptibles a les pertorbacions electromagnètiques que es propaguen amb la radiació solar. Aquesta pertorbació fa moure els electrons, ja que estan carregats elèctricament.

1. En alguns casos, els electrons s'exciten i produeixen un moviment vibratori microscòpic en els àtoms. Aquest moviment s'estén per tot el material, i per tant, s'incrementa la temperatura del material. Aquest fenomen explica l'escalfament de les superfícies que estan exposades al Sol, i per tant, l'aprofitament de **l'energia solar fototèrmica**, on s'escalfa l'aigua a partir del contacte amb superfícies escalfades pel Sol fent passar per aquesta superfície escalfada. Aquest sistema l'abordarem en la sessió 3 del curs.

2. En d'altres casos, els electrons excitats a part de vibrar, també poden arribar a alliberar-se de l'escorça atòmica i desplaçar-se a través d'un circuit elèctric. Aquest fenomen s'anomena Efecte Fotoelèctric i serveix per explicar l'obtenció d'electricitat a partir del Sol, el que anomenem **energia Solar Fotovoltaica**. Aquest sistema l'abordarem en la sessió 4 del curs.

Més enllà dels fenòmens físics associats a l'obtenció d'energia a partir de la radiació, existeixen dissenys arquitectònics que serveixen per optimitzar l'obtenció d'energia solar, així com per reduir les pèrdues energètiques i per tant, el consum d'energia convencional. Aquest conjunt de dissenys arquitectònics s'anomenen Arquitectura bioclimàtica, i presentem algunes de les seves principals característiques a continuació.

#### 4. L'ARQUITECTURA BIOCLIMÀTICA

Una manera per a reduir el consum d'energia en l'àmbit de les vivendes és treure el màxim profit a l'energia solar per mitjà del que es denomina arquitectura bioclimàtica, bioclimatisme o energia solar passiva. El principi de l'energia solar passiva consisteix en optimitzar el disseny de l'edifici per fer mínimes les necessitats de calefacció i refrigeració addicionals, aprofitant l'escalfor del Sol i la ventilació natural. Un edifici mal orientat o, amb uns materials de construcció inadequats, pot arribar a consumir el doble d'energia que un similar ben dissenyat i ben orientat. Per tant, cal tenir en compte factors com l'orientació, la forma i l'emplaçament de l'edifici; així com la conductivitat tèrmica dels materials constructius, el grau d'aïllament dels diferents murs i la distribució de les obertures.

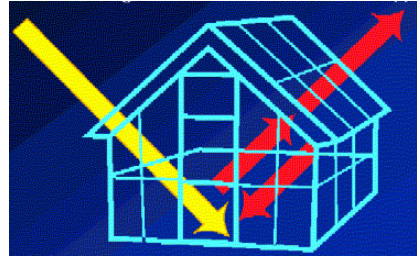
Alguns dels elements més destacats de l'arquitectura bioclimàtica són:

##### 1. L'efecte hivernacle.





Tant els vidres com altres materials transparents a la radiació electromagnètica visible (la llum) són opacs per a altres classes de radiació menys energètiques, com ara la radiació infraroja. És a dir, que la llum visible pot travessar els vidres sense problemes, però aquests materials impedeixen l'escapament de la radiació infraroja. D'aquesta manera, quan una cavitat està envoltada per vidre, l'energia pot entrar en forma de radiació visible, escalfant el seu interior. Posteriorment, els materials escalfats tornen aquesta energia en forma de rajos infrarojos, que no poden escapar completament de la cavitat. Aquest principi serveix per explicar l'escalfament d'espais com ara els hivernacles, que assoleixen temperatures molt superiors a la temperatura de l'exterior. Per tant, l'ús de vidres i materials translúcids serà una peça clau en la construcció d'habitatges bioclimàtics.



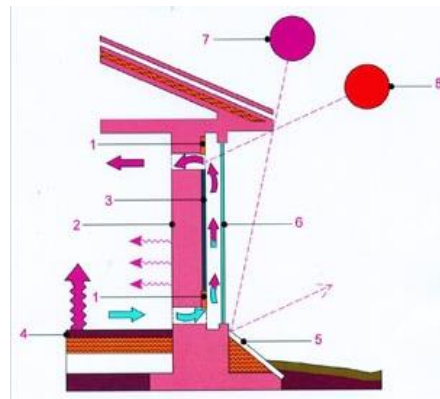
## 2. La orientació de les finestres.

Les finestres orientades cap al sud permeten l'entrada dels raigs solars a l'hivern, els quals ajuden a escalfar l'habitable. Alhora, les persianes i cortines permeten aïllar aquestes mateixes finestres durant la nit. L'ús de toldos, porxos o volanteres permetrà al mateix temps, aïllar aquestes mateixes finestres a l'estiu dels intensos raigs solars. Per tant, és recomanable la construcció de grans finestres orientades al sud i finestres petites orientades al nord, ja que d'aquesta manera s'optimitza la captació de radiació solar. De fet, aquesta orientació és la que s'ha seguit històricament en la construcció de masies a Catalunya.



## 3. El mur Trombe.

El mur Trombe (nom de l'arquitecte francès que el va dissenyar) és un sistema de captació basat en la capacitat d'absorció de l'energia solar que tenen alguns materials. El mecanisme es basa en la col·locació d'un mur darrera d'una gran finestra (6) de vidres en una zona solellada de la casa, de manera que la radiació visible solar (8) pugui travessar fàcilment el finestró i sigui absorbida per la paret (3). Aquesta absorció serà tornada a la casa per l'altra banda del mur (2) unes hores després, coincidint amb la nit si s'ajusta adequadament el gruix i la conductivitat tèrmica del material de que està fet. Unes obertures (1) en la part inferior i superior del mur amb l'interior de la casa permetran una circulació de l'aire calent durant el dia. Aquest sistema cal complementar-lo amb altres finestres que permetin passar la llum. El sobreescalfament de l'estiu (7) es pot minimitzar amb la producció d'ombres i amb una obertura en la part posterior de la casa (façana nord) que pugui produir un corrent d'aire que afavoreixi la refrigeració natural.



1 Vàlvula de posició nit - dia.

2 Mur massís lateral.

3 Superfície negra.

4 Paviment

5 Reflector extern.

6 Vidre

7 Sol d'estiu

8 Sol d'hivern

Més enllà de d'utilitzar l'energia solar passiva, la arquitectura bioclimàtica compta amb altres dissenys per millorar el confort i l'estalvi energètic de les llars:

#### **4. Les càmeres d'aire aïllant en les parets i les finestres.**

Per mantenir una llar a una temperatura confortable, és a dir, evitant les pèrdues, és convenient utilitzar parets amb càmeres d'aire aïllant. La transferència d'energia d'una casa calenta cap a un exterior fred succeeix per la conducció de la calor a través dels materials de la paret. Ara bé, l'aire és un material poc conductor. En realitat, quan un objecte es refreda en contacte amb l'aire no ho fa per conducció, sinó per convecció. Aquest segon fenomen es produeix degut al moviment d'aire calent que es reparteix per l'espai, emportant-se així part de l'energia. Ara bé, si l'aire de l'interior d'una càmera aïllant està confinat entre les parets, la convecció no és possible, i per tant, s'aconsegueix un aïllament tèrmic molt eficaç. Aquest sistema s'utilitza especialment en els països de climes freds, com ara el nord d'Europa o d'Amèrica.

#### **5. La utilització d'arbres.**

La col·locació d'arbres pot, per un costat, protegir les parets de la llar del vent, i per tant, reduir el refredament dels edificis. A més a més, els arbres de fulla caduca, permeten a l'estiu protegir de l'excés de radiació solar amb les seves fulles, i a l'hivern, en canvi, permeten l'arribada d'aquesta radiació sense problemes.

#### **6. Circuits subterranis.**

Els canvis de temperatura que es produeixen a la superfície de la terra es veuen lleugerament moderats a uns quants metres sota terra. A l'estiu la temperatura a 5 metres sota terra acostuma a ser lleugerament inferior a la de la superfície, i en canvi, a l'hivern, la temperatura a aquesta profunditat no és tant baixa com en la superfície. Per tant, la instal·lació d'un circuit d'aigua que passi per sota terra fins a aquesta profunditat permet regular la temperatura de l'aigua, tant quan fa molta calor com quan fa molt de fred.

#### **ENLLAÇOS D'INTERÈS:**

Esquema de com la radiació solar interactua amb l'atmosfera i la superfície terrestre, és molt gràfic i detallat:

[http://www.jason.org/uploads/PublicUploads/CuteSoft/Energy\\_Transfer\\_pp12-13.jpg](http://www.jason.org/uploads/PublicUploads/CuteSoft/Energy_Transfer_pp12-13.jpg)

Documental sobre arquitectura sostenible i bioclimàtica:

<http://www.rtve.es/mediateca/videos/20100215/terra-verda-larquitectura-sostenible/693933.shtml>



## ACTIVITAT 1: ANÀLISI DE LA RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA

**Objectius:** Analitzar i interpretar dades a partir d'una taula per extreure'n conclusions, conèixer les característiques de la radiació solar a Catalunya i relacionar-ho amb la instal·lació de captadors solars.

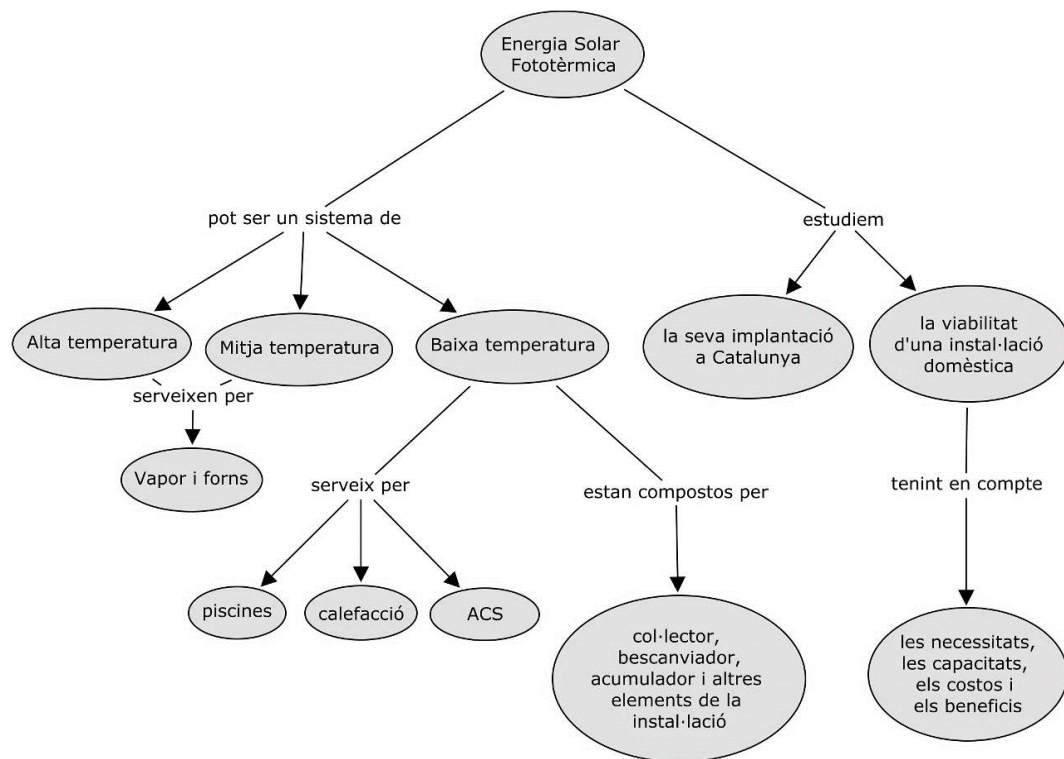
Tal com hem comentat, L'Atlas de Radiació Solar de Catalunya (document adjunt en la carpeta d'aquesta sessió) ens informa de la intensitat de la radiació solar que és captada per superfícies inclinades, al llarg de diferents mesos de l'any, per a diferents orientacions i en diferents estacions. Les taules que analitzarem seran les de radiació solar global diària sobre superfícies inclinades ( $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ ) de l'estació de Llançà, que trobarem a l'Atlas de Radiació Solar de Catalunya en les pàgines 122 i 123. També podeu trobar aquest Atlas en l'adreça <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen/>.

Observant les taules de l'estació de Llançà responeu a les següents preguntes:

1. Quines són les variables que intervenen en el valor de la radiació solar global diària?
2. Com varia la intensitat de la radiació solar respecte la variació de cada una de les variables?
3. Quines creieu que haurien de ser la inclinació i orientació més adients de treball d'uns captadors solars (ja siguin fototèrmics o fotovoltaics) situats en un municipi de Catalunya.

una casa de turisme rural que només funciona a l'estiu a St. Pere Pescador	una vivenda unifamiliar on s'hi fa vida tot l'any a Manresa	un alberg de muntanya que només obre en l'estació d'esquí a Sort

### SESSIÓ 3: L'ENERGIA SOLAR FOTOTÈRMICA





## 1. DE QUINA ENERGIA SOLAR FOTOTÈRMICA ESTEM PARLANT?

L'energia solar Fototèrmica engloba a tots els sistemes que utilitzen l'energia procedent del Sol per escalfar un líquid (líquid termòfor) mitjançant captadors solars, i aquest líquid escalfat serveix per a diferents usos. En la majoria de casos, aquest líquid és aigua. Un cop escalfada l'aigua, s'usa per a diferents usos:

- Aigua calenta sanitària (ACS)
- Climatització de piscines
- Suport a la calefacció
- Processos industrials
- Generació d'electricitat amb el moviment de turbines per vapor.

Els diferents tipus de sistemes fototèrmics són capaços d'escalfar el líquid a diferents rangs de temperatures. La temperatura d'aquest és el que condiciona l'elecció d'un sistema o un altre:

	<p>Sistemes de Mitja i Alta Temperatura on el líquid termòfor pot assolir temperatures superiors als 100°C, i en alguns casos arribar fins als 2000°C. En aquest cas, l'aigua escalfada s'utilitzarà per a processos Industrials, moviment de turbines i generació d'electricitat.</p>
	
	<p>Sistemes de Baixa Temperatura on la temperatura del líquid termòfor sol ésser inferior als 100°C. Aquests són els de major implantació a nivell domèstic. Ens centrarem a estudiar la climatització de piscines, l'ACS i el suport a la calefacció:</p>
	<p>La <b>climatització de piscines</b> consisteix en augmentar la temperatura de l'aigua per aconseguir una temperatura entre 23°C i 28°C, que és el rang de confort. Utilitzant aquest sistema es poden climatitzar piscines cobertes i a la intempèrie. L'aplicació més emprada és la climatització de piscines a la intempèrie amb resultats més que satisfactoris amb sistemes senzills i econòmics. Depenent de si les piscines són cobertes o descobertes la climatització de l'aigua es farà de manera directa o indirecta (mitjançant un doble circuit i un bescanviador) com veurem més endavant.</p>
	<p>El <b>suport a un circuit de calefacció</b> consisteix en satisfer, al menys parcialment, les necessitats de calefacció dels edificis. El principal inconvenient és la temperatura de treball que cal aconseguir. Els sistemes convencionals abasteixen els radiadors amb aigua a 70°C o 80°C, però els captadors de placa plana convencionals no solen superar els 60°C, per això només s'usen per a preescalfar l'aigua</p>



La **producció d'Aigua Calenta Sanitària (ACS)** consisteix en elevar la temperatura de l'aigua subministrada per la xarxa (5°C o 10°C) fins a una temperatura de confort (40°C o 50°C), per tal d'acumular-la per a un posterior ús sanitari.

## 2. ESTUDI DE LES CARACTERÍSTIQUES I ELEMENTS D'UN CIRCUIT.

### 2.1. PRINCIPIS FÍSICS

En aquesta sessió ens proposem conèixer les característiques d'un sistema de captació d'energia solar Fototèrmica de baixa temperatura. Per fer-ho, veurem quins tipus de circuits hi ha i quins són els seus elements fonamentals. El principi general de funcionament de qualsevol sistema d'aquestes característiques es basa en la captació de la radiació solar a través d'un captador (és a dir, del que quotidianament s'anomena les plaques), un mecanisme per fer circular el líquid a través del circuit i un acumulador, és a dir, un dipòsit on s'emmagatzema l'aigua un cop ha estat escalfada.

Hem de tenir en compte que la transferència d'energia en aquest sistema no sempre es produeix a partir del mateix principi, ja que intervenen diferents fenòmens al mateix temps:

- Parlem de **conducció** quan hi ha contacte entre dos materials amb temperatures diferents. En aquest cas, l'excitació dels àtoms és major per a temperatura majors i la transferència de calor es va produint àtom a àtom a través de col·lisions.
- Parlem de **convecció** quan la transferència energètica va associada al desplaçament de matèria, en aquest cas, el moviment dels fluids.
- Parlem de **radiació** quan la transferència energètica es produeix sense un contacte entre diferents materials, sinó mitjançant la propagació de pertorbacions electromagnètiques com les que varem veure en la sessió anterior.

Per tant, el Sol escalfarà els captadors solars mitjançant la radiació. Alhora, els captadors escalfaran el líquid termòfor per conducció, ja que el motiu de l'escalfament és el contacte entre les superfícies dels dos materials. Per acabar, el moviment d'aquest líquid escalfarà la resta del sistema per convecció.

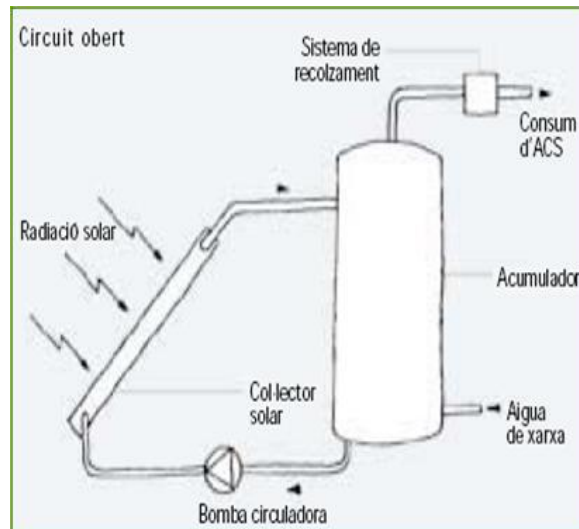
### 2.2. TIPUS DE CIRCUITS

En l'estudi d'un circuit per a l'escalfament d'aigua per usos domèstics ens podem trobar amb dissenys diferents, que responen a diferents necessitats. En aquest sentit, podem preguntar-nos si:

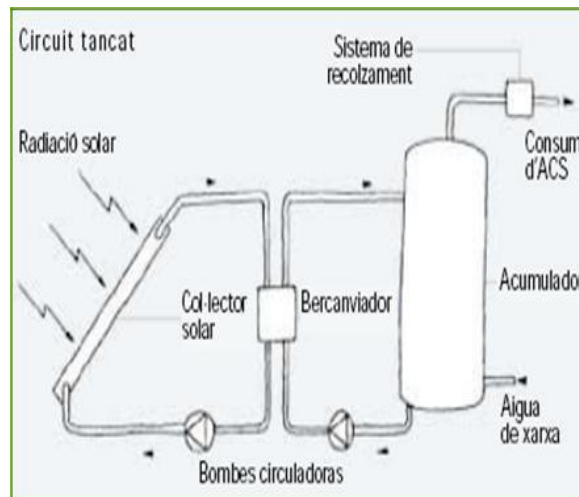
**El circuit és obert o tancat.**



En els circuits oberts, l'aigua que s'ha d'escalfar prové directament de la xarxa general, la radiació solar incideix sobre el col·lector solar i escalfa l'aigua que circula pel seu interior. Aquesta es desplaça cap a dalt fins al dipòsit d'acumulació (degudament aïllat) i, aquest es buida amb una quantitat equivalent d'aigua freda cap al captador. Són sistemes més econòmics i amb bons rendiments. Com que estan integrats per menys elements són més senzills de fabricar i instal·lar.

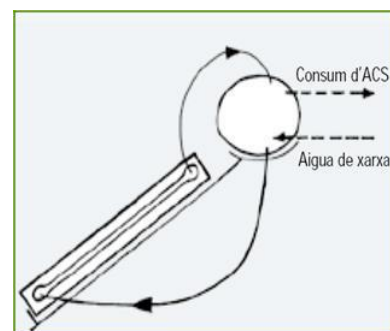


En canvi, els circuits tancats consten de dues parts: El circuit primari, que és un circuit tancat i, el secundari, que és obert a la xarxa general. La radiació solar incideix sobre el col·lector escalfant el fluid termòfor del seu interior. Aquest transmet calor a l'aigua del tanc d'acumulació mitjançant un bescanviador o intercanviador de calor. D'aquesta manera s'aconsegueix que l'aigua del dipòsit no es mescli amb el fluid del captador, i així es pot afegir un component anticongelant al captador per a la seva utilització en zones amb gelades. En aquest cas, el captador pot treballar a una pressió adient atenent a criteris d'optimització energètica. El principal inconvenient és que l'únic fluid de circulació és l'aigua el que pot ocasionar problemes amb les gelades i corrosió accelerada degut a les incrustacions.



#### **El circuit funciona amb un circulador o amb convecció natural (termosifó).**

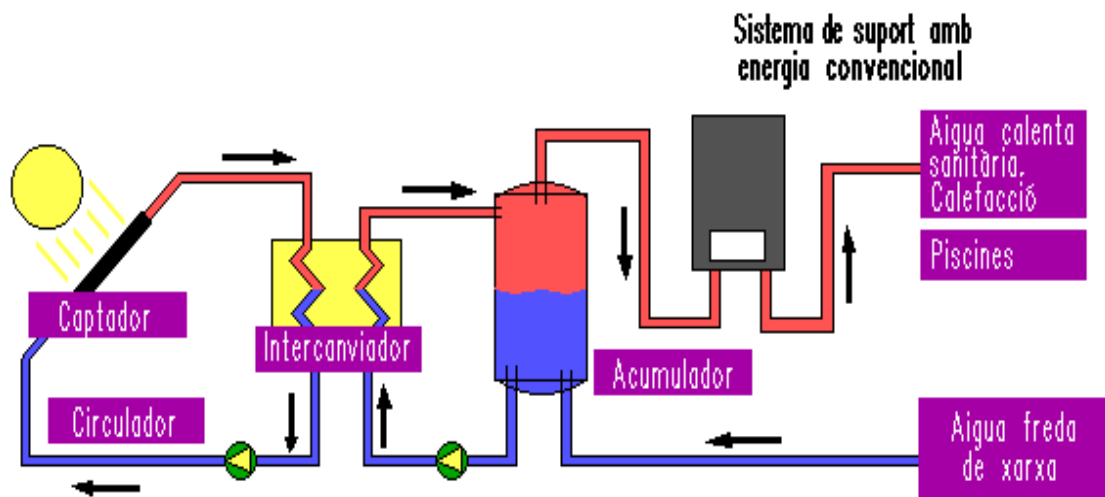
Els circuits amb conducció natural són sistemes simples que funcionen sense una bomba de circulació que faci moure l'aigua per l'interior del circuit. El seu funcionament s'explica a partir de l'estratificació tèrmica en l'acumulador, és a dir, l'aigua de la part superior és més calenta que la inferior. La part inferior de l'acumulador i la del captador estan connectades, així, l'aigua més freda del circuit també omple el captador. L'aigua del captador s'escalfa amb la radiació solar, perdent densitat. El fluid, més lleuger, puja cap a la part alta de l'acumulador. Per la part baixa del captador es reemplaça per aigua freda. És a dir, que la radiació solar genera un gradient de temperatura entre la part alta del captador i la part inferior de l'acumulador. Com més salt tèrmic, més cabal circulant. El problema d'aquest sistema és que la circulació d'aigua s'atura quan no hi ha radiació suficient per a generar el gradient.



Per altra banda, en la convecció forçada, existeix un major control del funcionament de la instal·lació. El flux de l'aigua es regula mitjançant una bomba o circulador que funciona amb suport extern d'energia elèctrica. Aquesta bomba permet que el fluid circuli més ràpid, amb el que es disminueixen les pèrdues de temperatura en la distribució. La bomba també permet la interrupció de la transferència quan l'aigua que circula pels captadors és més freda que l'aigua del tanc. A diferència dels sistemes de convecció natural, aquest sistema és típic de les zones fredes on s'ha d'optimitzar l'eficiència de la instal·lació solar, i es pot emprar en instal·lacions de qualsevol grandària.

### 2.3. ELEMENTS BÀSICS D'UN CIRCUIT BASAT EN UN SISTEMA DE BAIXA TEMPERATURA

El següent esquema compta amb tots els elements bàsics que conformen un circuit com el que estem estudiant:



#### a) Captador o col·lector solar.

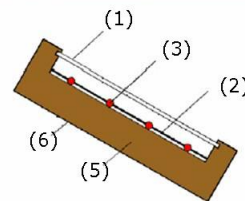
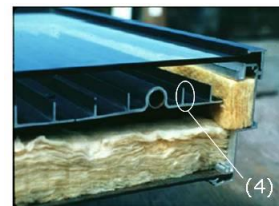
El captador solar és l'element bàsic del sistema solar tèrmic. És l'element encarregat de capturar l'energia del Sol i transferir-la al sistema en forma de calor. Tot i que els captadors solars plans, que utilitzen com a fluid l'aigua són els més emprats al nostre país per a instal·lacions solars de producció d'ACS, en el mercat es comercialitzen altres tipus de captadors. Entre aquests, cal destacar els captadors solars de buit, que aconsegueixen temperatures de funcionament més elevades; i els captadors solars d'aire, que es solen utilitzar en els climes freds per a escalfar l'espai.

Un captador de placa plana amb coberta vidriada està format per:

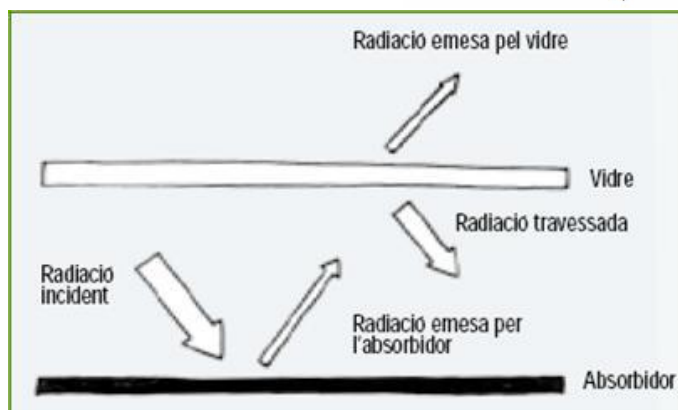
- **Coberta transparent**(1): aïlla el captador de l'ambient exterior i provoca l'efecte hivernacle al interior d'aquest.



- **Absorbidor(2)**: element encarregat de retenir la radiació solar al interior del captador. Normalment està format per una graella de tubs de coure que porten soldades unes aletes de planxa de coure. Dins dels tubs hi circula el líquid termòfor (3) i les aletes (4) augmenten la zona d'absorció.
- **Aïllament(5)**: format normalment per planxes d'espumes sintètiques. La seva funció és evitar les pèrdues de calor del interior del captador.
- **Carcassa(6)**: formada per una perfilaria d'alumini galvanitzat permet allotjar la resta de components de la placa.



L'escalfament que es produeix en aquest aparell s'explica a través de l'efecte hivernacle. La radiació solar que arriba al captador és principalment llum visible (5mm - 0,5m) i, al arribar, travessa la coberta de vidre (transparent per a longituds d'ona d'entre 0,3 a 3mm). Aquesta radiació arriba a l'absorbidor que s'escalfa i emet radiacions infraroges compreses entre els 4,5 i els 7,2mm, per a les quals el vidre és opac. Aquesta radiació no pot



sortir i és reflectida cap al interior un altre cop. La radiació reflectida cap al interior escalfa l'absorbidor, i aquest, per conducció, esclafa el fluid termòfor que passa pel seu interior. Si el col·lector és de buit aquest procés de captació energètica és més òptim, ja que hi ha menys pèrdues tèrmiques. En aquest cas, el sistema arriba a treballar fins a 70°C però la seva instal·lació és més cara. Aquests captadors de buit són idonis per a aplicacions de suport a la calefacció per radiadors convencionals i no tant per a la ACS.

Els captadors d'una instal·lació poden estar col·locats en sèrie o en paral·lel. En sèrie es poden aconseguir majors temperatures, ja que la mateixa aigua recorre els diferents captadors cada vegada més calenta. Ara bé, el rendiment total del sistema és menor. Si els captadors estan col·locats en paral·lel, la temperatura que assoleix l'aigua és menor, però el rendiment del conjunt és superior.

#### **b) Bescanviador de calor (sempre que tinguem circuits tancats) i acumulador.**

El bescanviador és l'element de la instal·lació encarregat de transferir la calor del circuit primari (tancat) al secundari sense que hi hagi mescla de fluids. Com veurem, en la majoria de casos el bescanviador es troba integrat a l'interior de l'acumulador (sempre que parlem d'instal·lacions domèstiques). L'acumulador, o dipòsit, és l'element de la instal·lació on s'emmagatzema l'aigua calenta, i d'aquesta manera, permet utilitzar l'aigua calenta en qualsevol moment independentment del nivell instantani de radiació solar. Aquest dipòsit està fabricat normalment d'acer o acer inoxidable i està equipat de diferents pressos laterals per a la connexió amb la xarxa general. A més, està degudament folrat amb un aïllament tèrmic per tal d'evitar les pèrdues de calor cap a l'exterior, ja que un bon aïllament de l'acumulador i de les canonades permet conservar l'escalfor durant la nit, de manera que es gaudeix d'aigua calenta encara que no faci sol. Com a orientació, es pot dir que el volum d'acumulació per a un habitatge unifamiliar convencional, format per a 4 persones és d'uns 200l. Per altra banda, en circuits amb dipòsits superiors als 1.500l s'usen bescanviadors externs a l'acumulador.



### c) Altres dispositius de la instal·lació.

- Sistema d'escalfament de suport: en molts casos, existeix un sistema addicional al dispositiu solar usat per a recolzar el procés d'escalfament de l'aigua. Aquest sistema és necessari en cas de fallida del sistema solar o en cas de tenir una radiació solar insuficient.
- Circulador o bomba de recirculació (sempre que es tracti de circuits amb convecció forçada).
- Vas d'expansió: element que contraresta les variacions de volum i pressió que es produeixen en un circuit tancat quan el fluid augmenta o disminueix de temperatura.
- Termòstat diferencial: element de control que regula el funcionament del bescanviador. Consisteix en dos sensors de temperatura, un situat a la sortida dels captadors i l'altre a la part baixa del circuit. Segons el valor de la seva diferència, el termòstat diferencial dóna l'ordre de posada en marxa de la bomba.
- Comptadors d'energia: la mesura del consum energètic és de gran importància a l'hora de comparar el funcionament de les instal·lacions executades amb les previsions de disseny.
- Vàlvules d'aïllament: vàlvules antiretorn, purgadors d'aire i vàlvules de seguretat.

---

## 2.4. ALTRES CONSIDERACIONS I DADES GENERALS.

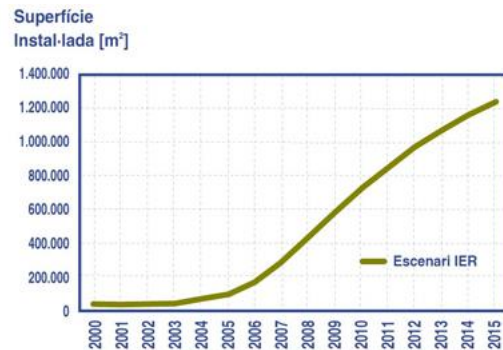
- Els captadors plans són un sistema modular que permet ampliacions i modificacions simplement afegint més captadors i, si cal, més volum d'acumulació. Per tant, es pot dir que les instal·lacions solars amb captadors plans no tenen límit pel que fa a les dimensions.
- La inclinació òptima del captador és aquella que proporciona el màxim guany solar. Es comprova, que la inclinació òptima s'aconsegueix quan la superfície és perpendicular a la direcció solar. És obvi, que per aconseguir la inclinació òptima hem de moure la superfície contínuament al llarg del dia seguint la direcció solar. Això és el que fan els captadors parabòlics concentradors, però no pas les instal·lacions de caire domèstic, ja que s'utilitzen captadors fixos durant tot l'any. En aquest cas, la inclinació òptima s'hauria de definir com aquella inclinació per a la qual en la major part d'ocasions presenta una superfície el més perpendicular possible a la direcció solar.
- Un habitatge unifamiliar convencional (4 membres), que tingui un consum d'aigua calenta mitjà, necessitaria un equip solar amb una superfície de captació de 2 a 4 m<sup>2</sup> i, un volum d'acumulació d'entre 150 i 300 l. Aquest equip proporcionaria aproximadament un 60-70% del consum d'ACS anual. Per tant, caldria un sistema convencional de suport per a subministrar la resta del consum.
- Actualment, les instal·lacions solars per a la producció d'aigua calenta sanitària tenen una bona relació preu-qualitat-servei. Aquestes instal·lacions permeten reduir una part molt important de la despesa energètica convencional, que pot significar un estalvi econòmic significatiu.
- Existeixen diferents subvencions públiques per a la instal·lació de sistemes de captació solar domèstics per a l'escalfament d'aigua. Les sol·licituds per a la subvenció s'acostumen a demanar durant uns mesos determinats de l'any, i depenent de les característiques del muntatge s'acostuma a subvencionar entre el 30% i el 50% del cost total de la instal·lació.





### 3. IMPLANTACIÓ DE L'ENERGIA SOLAR FOTOTÈRMICA A CATALUNYA.

A finals de l'any 2006 la superfície instal·lada d'energia solar tèrmica en servei a Catalunya era d'uns 120.000 m<sup>2</sup> de captadors tèrmics. Cal entendre que en els darrers anys han aparegut les anomenades **Ordenances Solars**, i això està fent augmentar significativament el nombre d'instal·lacions com aquestes. Des de l'any 1999, en que van ser aprovades les dues primeres ordenances a Barcelona i Sant Joan Despí, molts altres municipis han seguit el seu exemple. A finals de 2006, s'ha arribat a 55 ordenances en vigor a Catalunya que cobreixen més d'un 60% de la població catalana. Aquest exemple ha estat seguit també per altres ciutats com Madrid o Sevilla i ha despertat molt interès arreu del món on ja hi han exemples semblants a Itàlia i Austràlia. Aquest gran ressò ha fet sorgir noves iniciatives més ambicioses com el *Código Técnico de la Edificación*, que obliga als edificis de nova construcció que tinguin una demanda d'aigua calenta sanitària i depenent de la zona climàtica on es troben, **que incorporin una instal·lació solar tèrmica per cobrir part de les seves necessitats**. D'altra banda, la Generalitat de Catalunya ha publicat el decret que regula l'adopció de criteris d'ecoeficiència en els edificis on s'inclouen objectius més ambiciosos en relació a l'energia solar tèrmica. En els darrers anys, la situació del mercat es caracteritza per un augment de l'activitat, tant pel que fa al nombre d'instal·lacions realitzades com al nombre d'empreses del sector. Les estimacions realitzades situen les vendes en uns 25.000 m<sup>2</sup> per any de captadors solars tèrmics. Pel que fa a les subvencions públiques, gestionades per la Generalitat de Catalunya, han arribat als 2.205.000 euros durant l'any 2009.



#### ENLLAÇOS D'INTERÈS:

1. Organismes oficials. Hi ha molta informació sobre la Legislació vigent, les polítiques de foment per implantar Energia Solar Fototèrmica, així com les diferents subvencions que existeixen.

Institut Català de l'Energia: [www.icaen.cat](http://www.icaen.cat)

Institut per a la Diversificació i l'Estalvi de l'Energia: <http://www.idae.es>

2. Pàgina web on hi ha informacions molt interessants. Per exemple, hi ha un directori de les principals empreses dedicades a la instal·lació de captadors d'energia solar.

<http://www.solarweb.net/>

3. Article del País que parla sobre l'ús d'energia Solar Fototèrmica d'alta temperatura: [http://www.elpais.com/articulo/andalucia/Inaugurada/Sanlucar/planta/solar/producir/energia/abastecer/toda/Sevilla/elpepuespand/20070331elpand\\_5/Tes](http://www.elpais.com/articulo/andalucia/Inaugurada/Sanlucar/planta/solar/producir/energia/abastecer/toda/Sevilla/elpepuespand/20070331elpand_5/Tes)

4. Llibre sobre Instal·lacions fototèrmiques elaborat per un professor de la UPC expert en la temàtica:

Rosas Casals, Martí (2001), *Energia Solar Tèrmica*. Edicions UPC. ISBN: 8483014726

## ACTIVITAT 1: ESTUDI DE LA VIABILITAT D'UNA INSTAL·LACIÓ SOLAR TÈRMICA

**Objectius:** Estudiar la viabilitat en un habitatge unifamiliar d'una instal·lació solar tèrmica per la producció d'aigua calenta per usos sanitaris (ACS). Fer càlculs estimatius. Dominar l'ús d'una base de dades.

Per tal d'analitzar la viabilitat d'una instal·lació solar tèrmica, primer de tot s'han de definir les necessitats que cal que cobreixi; per tant cal realitzar un balanç energètic entre la radiació solar que rep l'habitatge on s'hi vol fer la instal·lació i l'energia que s'hi utilitza. Això implica definir les aplicacions (en aquest cas aigua calenta per usos sanitaris), els nivells de temperatures a assolir, les quantitats d'aigua que es gastaran. El càlcul de necessitats es realitza normalment per períodes mensuals, no tenint en compte les variacions de consum horàries, setmanals o de temporada. Els resultats es presenten habitualment en forma de taula de consums diaris pels diferents mesos, com veurem a continuació.

Estudiem per un cas específic, el balanç energètic i els costos de la instal·lació, havent definit les característiques de l'habitatge:

### Habitatge unifamiliar aïllat a Salou:



- a. **Ocupació: 4 persones.**
- b. Utilització: tot l'any.
- c. **Energia convencional: electricitat.**
- d. Demanda energètica considerada: producció d'aigua calenta sanitària.
- e. Sistema convencional emprat: Dipòsit amb resistència elèctrica.
- f. Rendiment del sistema convencional: 95%
- g. Dades climàtiques: Tarragona (es pot trobar les dades de radiació solar en l'Estació de Tarragona, en el document de la sessió 2 del curs "Atlas de radiació solar").
- h. Consum d'aigua calenta sanitària: 150 litres/dia.

L'estudi de la viabilitat suposa la realització de càlculs diversos. Realitzar els diferents càlculs tot omplint una Taula. El resultat final ens informarà de la viabilitat del projecte. Cal:

- a. Càlcul de les necessitats d'energia en l'habitatge
- b. Avaluació de l'energia solar disponible
- c. Càlcul de l'energia aprofitada pel captador solar
- d. Càlcul de l'energia aprofitada pel sistema
- e. Càlcul de la superfície de captació

- f. Determinació de la Fracció solar
- g. Elecció del volum d'acumulació
- h. Estalvi energètic anual
- i. Estalvi econòmic anual
- j. Valoració econòmica general
- k. Càlcul de l'estalvi d'emissions de CO<sub>2</sub>
- l. Altres costos de manteniment que no hem tingut en compte

En funció de totes aquestes dades, es podrà avaluar la viabilitat d'una instal·lació com aquesta. Per fer-ho, **hauràs d'omplir el document Excel que hi ha en la sessió 3**. Aquest full de càlcul t'ajudarà a fer les operacions pas a pas.

#### a) Càlcul de les necessitats d'energia en l'habitatge

1. La temperatura en la xarxa varia segons els mesos, i en la província de Tarragona, els valors mitjans d'aquesta temperatura és, en °C:

gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	set.	oct.	nov.	des.	mitjana
6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10

2. Hem de tenir en compte que l'aigua calenta de consum sol ésser de 45°C, però que l'escalfament en la caldera sol arribar entorn els 55°C.

3. Per tant, la variació de temperatura desitjada serà la diferència entre aquesta temperatura de consum i la temperatura en la xarxa.

$$\Delta T_{desitjada} = T_{consum} - T_{xarxa}$$

Per tant, la  $\Delta T$  desitjada serà, en °C:

gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	set.	oct.	nov.	des.	mitjana
39	38	36	34	33	32	31	32	33	34	36	39	35

Aquesta variació de temperatura correspon a una quantitat d'energia que s'ha de subministrar. Hem de tenir en compte que:  $E = V\rho c_e \Delta T$ , on:

**E** és l'energia transferida mitjançant calor per l'augment de temperatura  $\Delta T$  (expressar en kcal),

**V** és el volum diari de consum (l),

**$\rho$**  és la densitat de l'aigua (1kg/l com a valor de referència),

**$c_e$**  és la calor específica de l'aigua (1 kcal/kg °C),

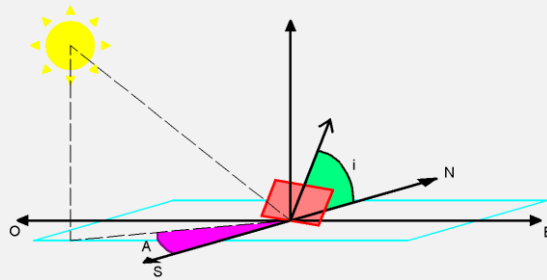
$\Delta T$  és l'increment de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

En aquest cas, podrem calcular l'energia necessària cada mes per escalfar l'aigua.

4. Calcula el consum d'Energia en kcal/dia.
5. Calcula el consum d'Energia en kWh/dia, tenint en compte que  $860 \text{ kcal} = 1 \text{ kWh}$ .
6. Calcula el Cost (€/dia), sabent que actualment l'energia té un cost aproximat de 0,09 € per cada kWh.
- 6b. Calcula el Cost energètic mensual.
- 6c. Calcula el Cost econòmic mensual.
- 6d. Fixa't en el Cost econòmic mensual i valora si s'ajusta al consum d'una família de 4 persones. Si creus que el consum hauria de ser substancialment diferent, indica el valor aproximat que tu consideris.

### B) Avaluació de l'energia solar disponible

Si observem les dades climàtiques de l'estació de Tarragona proporcionades per l'Atlas de Radiació solar de Catalunya, podem trobar els màxims mensuals.



7. Quina és l'orientació òptima dels captadors?
8. Quina és la inclinació òptima? Per escollir la inclinació òptima per l'habitatge que estem considerant, seguirem els criteris següents en funció de l'estació de l'any en el que es suposa la màxima utilització de la instal·lació.
  - Instal·lacions d'ús estival: Inclinació de captadors = latitud del lloc  $- 10^{\circ}$  (A Catalunya això suposa  $30^{\circ}$  a  $35^{\circ}$ )
  - Instal·lacions d'ús hivernal: Inclinació dels captadors = latitud del lloc  $+ 10^{\circ}$  (A Catalunya entre  $50^{\circ}$  i  $55^{\circ}$ )
  - En instal·lacions d'ús continu al llarg de l'any muntarem els captadors amb inclinació similar a la de l'hivern perquè és l'època més desfavorable donada la baixa radiació disponible.
9. Coneixent l'orientació i la inclinació òptimes, escriu la radiació incident que hi haurà cada mes a Salou (Tarragona) en  $\text{MJ}/\text{m}^2\text{dia}$ .
10. Sabent que  $1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}$ , i per tant,  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ , indica la radiació solar en  $\text{kWh}/\text{m}^2\text{dia}$ .

11. Amb tot, la instal·lació solar no pot aprofitar el 100% d'aquesta radiació, ja que el vidre de la coberta del captador pla té un índex de reflexió de la radiació en funció de l'angle d'incidència. La majoria dels processos de càlcul han establert en un 6% el valor mig de radiació no aprofitable pels captadors solars a causa d'aquest efecte. Per tant, indica quina serà la radiació solar aprofitable en cada mes en kWh/m<sup>2</sup>dia.

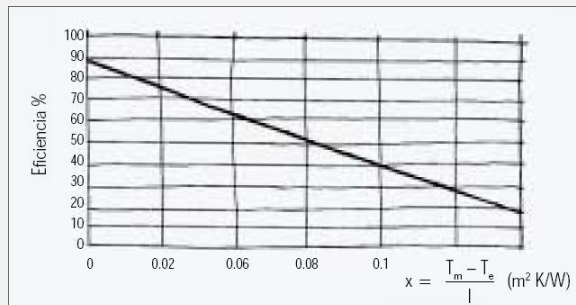
### C) Càlcul de l'energia aprofitada pel captador solar

De l'energia que conté la radiació aprofitable en un emplaçament el captador només n'aprofita una part. Aquesta fracció ve determinada pel rendiment del captador.

$$E_{\text{cap}} = \eta \cdot \text{Radiació aprofitable}$$

El rendiment del captador no és un valor fix, ja que depèn de factors que varien durant el seu funcionament: la temperatura mitjana del captador, la temperatura ambient i la intensitat de la radiació solar. Habitualment, per calcular el rendiment s'utilitza una expressió matemàtica, la correlació d'una recta que té com expressió:

$$\eta = 0,94b - \frac{m(T_m - T_a)}{I}$$



$\eta$  és el rendiment expressat en tant per ú.

**b** és el factor de guanys del captador, que ha de ser subministrat per assaig del fabricant, és un valor adimensional. Aquest paràmetre està afectat per un coeficient de 0,94 que corregeix l'efecte de la variació de l'angle d'incidència de la llum solar en el captador al llarg del dia, l'envelliment de la cobertura i la brutícia del damunt. El valor de 0,94b s'anomena transmitància i dóna idea de l'eficiència de captació de la radiació del captador.

**m** és el pendent de la recta i representa el factor de pèrdues tèrmiques del captador. Ha de ser subministrat pel fabricant, les seves unitats són W/m<sup>2</sup>°C.

**T<sub>m</sub>** és la temperatura mitjana del captador. Es sol escollir un valor constant al llarg de l'any, generalment el mateix valor que el fixat per a l'aigua de consum (45°C). Aquesta opció facilita el càlcul, tot i que introdueix un error en el rendiment hivernal.

**T<sub>a</sub>** és la temperatura ambient mitjana diürna, durant les hores de sol.

**I** és la intensitat de radiació mitjana durant les hores de sol expressada en W/m<sup>2</sup>. Es calcula dividint la radiació solar global diària aprofitable entre la quantitat d'hores de sol.

12. En el nostre cas, escollim com a valors pel factor de guanys  $b=0,786$ .

13. Pel factor de pèrdues  $m=7,871$  W/m<sup>2</sup> i °C.

14. Les temperatures mitjanes diürnes a Catalunya (°C) en funció dels mesos és de:

	gene r	febre r	mar ç	abri l	mai g	jun y	julio l	agos t	setembr e	octubr e	novembr e	desembr e
Tarragon a	11	12	14	16	19	22	25	26	23	20	15	12

15. De la mateixa manera, les hores de llum solar a Catalunya (h) són:

	gene r	febre r	mar ç	abri l	mai g	jun y	julio l	agos t	setembr e	octubr e	novembr e	desembr e
Hore s de sol	7,5	8	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7

16. Omplim les files de la Taula que corresponen a la Intensitat mitjana de radiació ( $\text{W/m}^2$  i dia).

$$I = \frac{\text{Radiació Solar Aprofitable}}{\text{Hores de Sol}}$$

Compte que la intensitat va en W i no en kW, s'ha de multiplicar per 1000 al numerador!

17. Un cop coneixem els valors de m, b, l, Tm i Ta, podem conèixer el rendiment del captador per cada mes.

#### D) Energia aprofitada pel sistema:

Avaluar amb exactitud les pèrdues en tot el sistema és molt complicat. Amb tot, s'ha establert empíricament un valor de pèrdues generals del sistema que correspon a la realitat de les instal·lacions en funcionament: és del 10 al 15% de l'energia obtinguda al captador. Aquest valor es pot modificar fins al 8-10% en instal·lacions on el consum està concentrat en hores del dia (instal·lacions esportives, etc.), com també en aplicacions estacionals no hivernals. També es pot ampliar fins al 20% en instal·lacions amb un desfasament horari elevat entre la producció i el consum (cases de cap de setmana, fàbriques on no hi ha consum d'aigua calenta durant tot el cap de setmana, etc.)

18. Per conèixer l'energia que capta el captador només em de corregir la radiació aprofitable (11) i multiplicar-ho pel rendiment (17):

$$E_{\text{cap}} = \eta \cdot \text{Radiació aprofitable}$$

19. Per tal de trobar l'energia aprofitable en tot el sistema, apliquem la reducció corresponent:

$$E_{\text{aprofitable pel sistema}} = E_{\text{captador}} \times C_{\text{pèrdues}}$$

on  $C_{\text{pèrdues}}$  és en general de 0,90-0,85, 0,92 en instal·lacions molt eficients i 0,80 per a instal·lacions amb desfasament. En el nostre cas, considerarem de 0,9.

### E) Càlcul de la superfície de captació

La superfície de captació per cobrir la totalitat de la demanda diària prevista es limita a la realització d'un simple quocient:

$$S_{captadora} = \frac{E_{deconsum}}{E_{aprofitada\text{ pel sistema}}}$$

20. Calcula la superfície que necessaries per cobrir el 100% de la demanda en cadascun dels mesos. Veuràs que els mesos d'estiu la superfície que necessaries és molt més petita que als mesos d'hivern, i per tant, l'aprofitament energètic en els mesos hivernals obligaria a la instal·lació d'una superfície captadora molt major del què es necessita per cobrir la demanda en els mesos d'estiu.

Una eina d'ajuda al càlcul de la superfície de captació òptima és calcular el % de la demanda que es cobreix en cada mes amb un determinat nombre de m<sup>2</sup> de plaques, i posteriorment, encerclar els mesos de l'any pels quals l'energia aprofitada pel sistema és superior a l'energia consumida. Per calcular aquest percentatge de la demanda només s'ha de dividir la energia aprofitada pel sistema diàriament (19) per l'energia de consum diari (5).

Els criteris per tal d'escollir la superfície de captació:

- Si es munten els captadors necessaris per cobrir els pitjors mesos de l'any, la instal·lació restarà sobredimensionada la resta de l'any. Això allargarà el termini d'amortització i provocarà sobreescalfaments que poden arribar a ser problemàtics.
- Si es munten els captadors justos per cobrir el millor mes de l'any, durant la resta de mesos, l'aportació solar serà inferior a la demanda, de manera que alguns mesos d'hivern arribarà a ser testimonial i no assolirà el 60% anual que exigeixen la majoria d'ordenances solars.
- Si s'analitzen els mesos és fàcil trobar un número de captadors lleugerament superior al d'estiu, que ens permet un funcionament 100% durant 4 o 6 mesos l'any, mantenint una bona aportació d'energia a l'hivern i amb un risc mínim de sobreescalfament a l'estiu.

21. Omple el % de la demanda que es cobreix amb 1m<sup>2</sup>.

22. Omple el % de la demanda que es cobreix amb 2m<sup>2</sup>.

23. Omple el % de la demanda que es cobreix amb 3m<sup>2</sup>.

24. Omple el % de la demanda que es cobreix amb 4m<sup>2</sup>.

25. Omple el % de la demanda que es cobreix amb 5m<sup>2</sup>.

26. Omple el % de la demanda que es cobreix amb 6m<sup>2</sup>.

27. En funció de les indicacions anteriors, quin és el valor òptim de superfície de captació?

### F) Fracció solar

Un cop decidida la superfície a instal·lar automàticament obtenim la producció diària per a cada mes de l'any. A partir d'aquestes dades es pot calcular la proporció del consum que serà previsiblement coberta pel sistema solar, anomenada habitualment fracció solar.

$$F_{solar} = \frac{E_{aportada pel sistema} \times S}{E_{de consum}} \times 100$$

El resultat d'aquesta operació és percentual, i coincideix amb el % d'energia que hem calculat en els passos anteriors (entre el 21 i el 26, depenent de quina superfície haguem triat).

Si en el nostre municipi hi hagués una Ordenança Solar, la fracció solar mitjana hauria de ser superior al 60 %.

28. Quina és la fracció solar per cada més?

29. Quina és la fracció solar mitjana? Supera el percentatge que ens indica l'Ordenança Solar?

### G) Elecció del volum d'acumulació

A partir de la superfície de captadors a muntar en una instal·lació podem escollir el volum òptim d'acumulació. Si no existeix una relació adient trobarem temperatures d'acumulació no desitjades (massa baixa per a acumuladors grans i massa elevades per a acumuladors petits)

La relació entre la superfície dels captadors i el volum d'acumulació més apropiada per a la nostra latitud és d'entre 50 i 85 litres d'acumulador per cada m<sup>2</sup> de captador. En instal·lacions on el consum estigui diferit de la utilització un període de temps superior a 24 hores, és recomanable treballar amb relacions de volum superiors, de l'ordre dels 100-125 l/m<sup>2</sup>, ja que el període d'escalfament és més llarg i per tant la capacitat per escalfar aigua és superior.

En el nostre cas, un expert ens ha recomanat 70 l per cada cèl·lula de 1m<sup>2</sup> de captador.

30. Quin és el volum de l'acumulador que has triat?

### H) Estalvi energètic anual

Per tal de calcular l'estalvi energètic anual hem de diferenciar entre aquells mesos en que la fracció solar és major o inferior al 100%. Quan la fracció solar és menor del 100%, l'estalvi es calcula a partir de l'energia diària aprofitada pel sistema (19) multiplicada pel nombre de dies de cada mes i per la fracció solar mensual (28). En canvi, si la fracció solar és major del 100% l'estalvi energètic és igual que l'energia mensual utilitzada pel sistema (19) multiplicada només pel nombre de dies de cada mes.

31. Quin és l'estalvi energètic mensual?

32. Quin és l'estalvi energètic total ?

### I) Estalvi econòmic anual

Tant l'estalvi econòmic mensual com l'anual es calculen tenint en compte que actualment la casa escalfa l'aigua amb un escalfador elèctric. Per tant, l'energia que ens estalviem es relaciona amb l'estalvi econòmic a partir de la tarifa per la qual el kWh té un cost de 0,09 €.





34. Quin és l'estalvi econòmic mensual?

35. Quin és l'estalvi econòmic anual?

#### J) Valoració econòmica general

**Subvencions:** Extret dels documents oficials de la Generalitat per a l'any 2009, ja que el període de subvencions per a l'any 2010 no comença fins al maig d'aquest any: ... *En aquests sistemes s'aplicarà el 37% sobre el cost subvencionable, que és de un màxim de 1.160 euros/kW (812 euros/m<sup>2</sup> captador útil).*

**Cost de la instal·lació:** Consultat a una empresa de Tarragona especialitzada en la instal·lació d'aquests tipus de sistemes. Cada col·lector de l'empresa CLIMAiSOL té una superfície de 1m<sup>2</sup>.



**CLIMAiSOL**  
energía solar

C. Tarragona 14  
43840 - Salou

Concepto	Precio (Euros)
Colector CLIMAiSOL	569,52
Acumulador Combi 200 l	643,00
Acumulador Combi 300 l	825,00
Acumulador Combi 500 l	1036,00
Grupo de retorno solar 1 ramal soliclíma bomba	220,00
Central solar SKSC2 control de 2 circuitos 2	227,00
Vaso de expansión DS-18 3bar	32,00
Mezclador Termostático 3/4" con válvula antirretorno	78,80
Anticongelante FS20	113,00
Kit básico de montaje para un colector vertical	160,78
Tubería espirometálica DuoSolar VA de 16-15 m	338,65
Set conexión para DuoSolar VA de 16.	14,68
Valvulería, accesorios y aislamiento	365,00
Cableado y material eléctrico	135,00
Instalación y puesta en marcha	1376,00

- Esta propuesta es meramente orientativa y puede variar significativamente después de la evaluación de la obra a realizar antes de la confección del presupuesto.
- No tiene valor legal y no corresponde a un presupuesto en firme en ningún caso.
- No supone ningún vínculo contractual entre el quien la expone i el cliente.
- Esta propuesta tendrá una validez de un mes a partir de su fecha de confección.

L'IVA sol ser del 7% en cas de facturació a promotors i del 16% per a la resta de situacions. Realitzem el càlcul del cost total de la instal·lació amb i sense IVA. Coneixent totes aquestes dades, calcula:

35. Els costos d'instal·lació tenint en compte la superfície triada (27) i el volum de l'acumulador (30).

36. L'import total de la subvenció a la que s'aspira.

37. El temps d'amortització de la instal·lació (sols tindrem en compte l'estalvi anual d'electricitat i obviarem els costos de manteniment tant de vigilància (per part de l'usuari), com de prevenció o de correcció, així com els crèdits que s'hagin hagut de demanar).

38. Aquest mateix temps d'amortització tenint en compte la subvenció.

#### **k) Càlcul de l'estalvi d'emissions de CO<sub>2</sub>**

En funció de la font d'energia de la qual prové l'electricitat que es consumeix l'emissió de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera és major o menor. Per a la generació elèctrica es sol considerar que s'emet una mitjana de 0,453 kg de CO<sub>2</sub> per cada kWh generat, tot i que aquest valor depèn de l'origen de l'electricitat.

39. Per acabar, realitza el càlcul de l'estalvi d'emissions de CO<sub>2</sub> amb les dades que has calculat al llarg del procés.

#### **L) Costos de manteniment que no hem tingut en compte**

Tot i que fins aquí s'ha tingut en compte molts dels elements que intervenen en la valoració d'una instal·lació solar fototèrmica, per tal de fer un càlcul complet dels costos, caldria tenir present també els costos de les operacions de manteniment i les garanties de la instal·lació

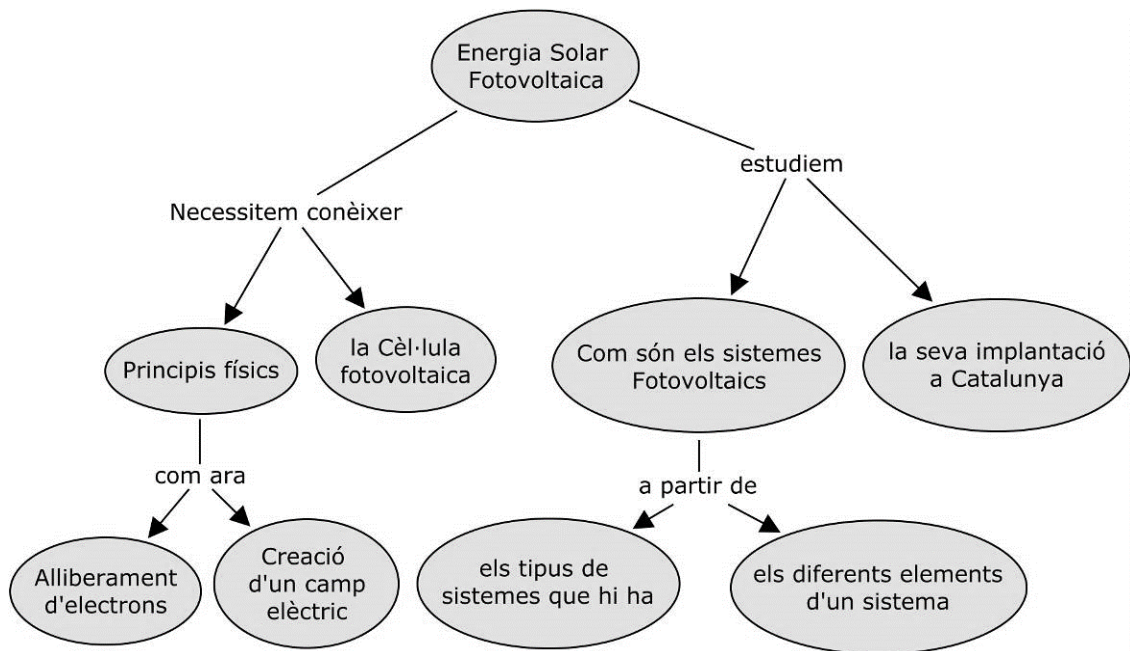
Entre altres, destaquem les operacions de manteniment com ara:

- Inspecció visual de l'estanqueïtat i la integritat del col·lector.
- Comprovar l'existència se fugues, deformacions i/o taques de la placa absorbidora.
- Inspecció visual (possibles esquerdes) del vidre.
- Inspecció visual de la possible aparició de fugues en les connexions.
- Neteja del vidre en hores de baixa irradiació.
- Comprovar si l'estructura presenta corrosió i reparar-la amb pintura antioxidant.
- Comprovar-ne el funcionament correcte de les vàlvules de seguretat.
- Obrir i tancar les vàlvules de tall diversos cops per evitar que es bloquegin.
- Comprovar el funcionament dels purgadors.
- Comprovar possibles fuites de les canonades.
- Inspecció visual de l'aïllament.
- Comprovar la pressió de treball del circuit primari en fred.
- Comprovar la pressió d'omplerta d'aire del vas d'expansió tancat.
- Comprovar el nivell de l'aigua del vas d'expansió obert.
- Inspecció i neteja del bescanviador de calor.
- Comprovar l'estanqueïtat de la electrobomba.



- Inspecció visual del funcionament correcte del termòstat diferencial.
- Inspecció visual de la ubicació correcte de les sondes de temperatura.
- Verificar el funcionament correcte de l'interruptor magnetotèrmic, dels diferencials, del cablejat, etc. del quadre elèctric.

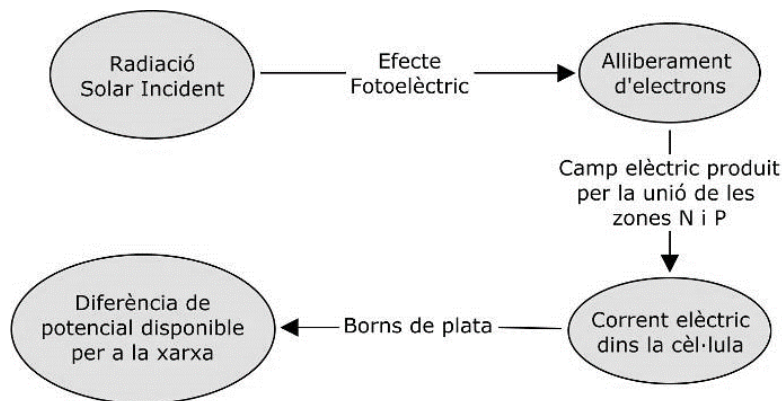
## SESSIÓ 4: L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA





## 1. FONAMENTS CIENTÍFICS I TÈCNICS DE L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

L'Energia Solar Fotovoltaica engloba tots aquells sistemes pels quals l'energia procedent del Sol (en forma de radiació electromagnètica) s'utilitza per generar electricitat a través de l'excitació, alliberament i conducció dels electrons d'un material. Per entendre com es produeix aquest fenomen, caldrà abordar dos principis, el primer vinculat a l'alliberació dels electrons degut a l'efecte fotoelèctric, i el segon lligat a la creació d'un camp elèctric artificial dins d'un material semiconductor que dirigeix els electrons alliberats en una direcció privilegiada.

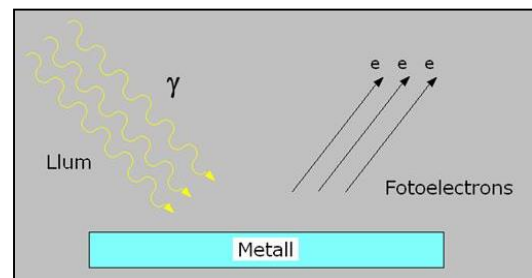


### 1.1. COM S'ALLIBEREN ELS ELECTRONS?

A finals del s.XIX, diferents científics varen observar que si s'il·luminava un metall amb llum d'una certa freqüència s'aconseguia alliberar electrons d'aquest material. El procés per al qual s'alliberen electrons d'un material per l'acció de la radiació va ser anomenat anys després com **Efecte Fotoelèctric** o emissió fotoelèctrica, i aquest és un dels fenòmens en el que es basa l'energia Solar Fotovoltaica.

Per cada substància hi ha una freqüència mínima (o llindar) de radiació electromagnètica per sota de la qual no s'alliberen electrons per més intensa que sigui la radiació. Això va ser un dels episodis més determinants en el canvi de la mecànica clàssica cap a la mecànica quàntica, ja que, per primera vegada la radiació electromagnètica no s'interpretava només com una ona sinó també com un conjunt de "quantums" energètics. Einstein va explicar l'efecte explicant que cada electró absorbia un quantum de radiació o fotó: si l'energia del fotó és suficient, li permet escapar de l'atracció del nucli, sinó, no.

Per tant, com que cada electró emès pren l'energia d'un únic fotó, es pot concloure que **el nombre d'electrons emesos en la unitat de temps serà proporcional a la intensitat de la llum amb la que s'il·lumina el material**. És a dir, que l'emissió electrònica augmenta quan s'incrementa la intensitat de la radiació que incideix sobre la superfície del metall, ja que hi ha més energia disponible per alliberar electrons.



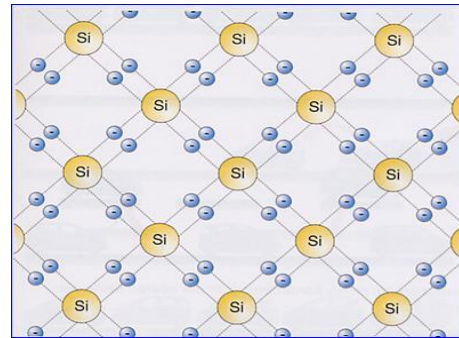
L'efecte fotoelèctric s'observa constantment en el nostre entorn (fotosíntesis dels vegetals, detectors de moviment en un ascensor, plaques Fotovoltaïques...). La tênue boira de la superfície de la lluna és degut al impacte de fotons, i els satèl·lits espacials adquireixen càrrega elèctrica positiva en les seves superfícies il·luminades, i negativa en les superfícies amb ombra, fenomen que s'ha de tenir molt en compte en la fase de disseny d'aquests aparells.

## 1.2. COM ES CREA UN CAMP ELÈCTRIC?

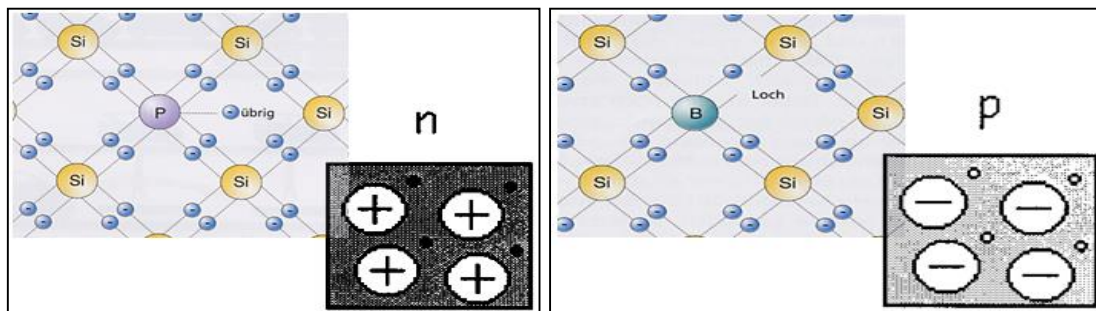
La creació del camp elèctric passa per modificar la distribució de càrregues lliures que hi ha en el material emprat per a la captació de fotons. El material usat habitualment per a l'aprofitament de l'energia solar a través de dispositius fotovoltaics és el Silici. El Silici, que té quatre electrons de valència, és un semiconductor, per tant, es pot dir que no és ni un bon conductor ni un bon aïllant.

En estat sòlid el Silici adopta una estructura cristal·lina: segons l'alineació dels àtoms es troba el silici monocristal·lí, el silici policristal·lí i el silici amorf. Aquesta estructura es manté amb enllaços covalents entre els electrons.

Si el Silici es dopa amb un element de valència 5 (com ara el Fòsfor), s'aconsegueix tenir un cristall amb electrons lliures, el que s'acostuma a anomenar portadors negatius. Aquest tipus de làmines reben el nom de N (negatives).



Si, pel contrari, el Silici es dopa amb un element de valència 3, com ara el Bor, s'aconsegueix tenir un cristall amb mancances d'electrons lliures, el que s'acostuma a anomenar forats (*loch*) o portadors positius. Aquest tipus de làmines reben el nom de P (positives).

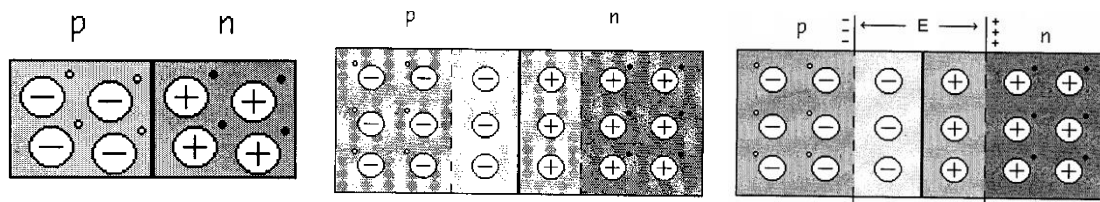


La unió d'una làmina N i una làmina P provoca en la zona de contacte un desplaçament d'electrons de la làmina N a la P, on cada electró es combina amb un dels forats. Així doncs, la regió d'unió entre les dues làmines es buida de portadors de càrrega, i es crea l'anomenada Zona de Depleció. En aquesta zona esdevé la següent situació:

- La part N de la zona de depleció queda carregada positivament, ja que, tot i que inicialment hi havia electrons lliures, aquests s'han desplaçat cap a la zona P.



- La part P de la zona de depleció queda carregada negativament, ja que hi han accedit més electrons dels que hi havia inicialment.

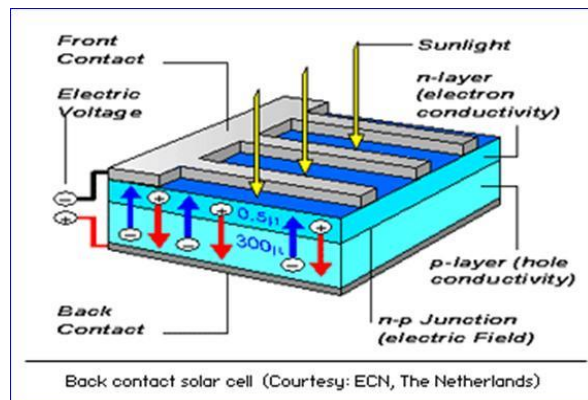


Per tant, al llarg de la superfície de contacte entre ambdues parts es crea un camp elèctric que va de la zona N a la zona P. Aquest camp elèctric és el responsable de conduir els electrons alliberats (aquells que han absorbit un fotó) cap als contactes de plata que hi haurà situats en la part superior del bloc de Silici.

### 1.3. COM ÉS LA CÈL·LULA SOLAR FOTOVOLTAICA?

Una cèl·lula solar és un dispositiu que permet generar una variació de potencial entre els seus extrems a partir de la radiació electromagnètica incident. Per fer-ho, es basa en els dos principis que hem esmentat anteriorment. Està formada per dues làmines dopades de Silici unides, una de tipus P i l'altra de tipus N. Al exposar-se a la radiació Solar i, degut a l'Efecte Fotoelèctric, apareix un corrent elèctric entre les dues lamines de la cèl·lula. Aquest corrent d'electrons es reconduïx degut a la presència del camp elèctric generat per la interacció entre les plaques N i P, de manera que els electrons s'acumulen en un dels extrems. Posteriorment, aquests electrons es poden recollir en els contactes de Plata que hi ha en l'extrem de la zona N, ja que la Plata és un material més bon conductor que el Silici.

La potència nominal de les cèl·lules es mesura en **watts pic** (Wp), que és la potència que pot proporcionar la cèl·lula amb una intensitat de radiació constant de  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Aquesta manera de mesurar la potència de les cèl·lules Fotovoltaïques és deguda a que la radiació incident no és sempre la mateixa, i per tant, no es pot parlar d'una potència constant de les cèl·lules, sinó d'una magnitud que depèn de la radiació incident que hi ha. Per exemple, una instal·lació de 10 Wp subministraria una potència elèctrica de 10 W al circuit a la que estigui connectada si rep una radiació incident de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , però que subministrarà una potència elèctrica inferior quan la radiació incident sigui també inferior.



Una cèl·lula individual normalment té una superfície d'uns  $75 \text{ cm}^2$ , superfície que correspon a una potència nominal propera de 1 Wp, i amb una radiació de  $1.000 \text{ W/m}^2$  es proporciona uns valors de tensió d'uns 0,5 V i una corrent d'uns 2 A. Per obtenir potències utilitzables per aparells de mitjana potència, cal unir un cert nombre de cèl·lules en el què s'anomena placa fotovoltaica. Aquestes plaques solen contenir entre 20 i 40 cèl·lules fotovoltaïques i, per tant, proporcionen una potència nominal d'entre 50 i 100 Wp. Les cèl·lules s'encaixen entre vidre laminat i plàstic per poder protegir les connexions elèctriques, resistir les inclemències del temps i donar als plafons fotovoltaics una vida mínima de 30 anys.



---

#### 1.4. RENDIMENT ENERGÈTIC D'UNA CÈL·LULA SOLAR FOTOVOLTAICA

El rendiment de les cèl·lules es defineix com el quocient entre la potència elèctrica màxima que pot subministrar una cèl·lula fotovoltaica i la potència lluminosa que incideix sobre la superfície. El rendiment no és sempre el mateix per a totes les cèl·lules, ja que varia segons l'estructura cristal·lina del Silici.

En el **Silici monocristal·lí**, els àtoms es disposen perfectament ordenats. Les cèl·lules són de color blau fosc amb brillantor metàl·lica. El rendiment d'aquestes cèl·lules obtingut en el laboratori és del 24%, però baixa fins al 15% en la seva fabricació en sèrie. Per tant, de cada 100 W que rebem del Sol, tan sols en podem aprofitar 15 W. Aquestes cèl·lules són les més cares i les més emprades.

El **Silici policristal·lí**, en el procés de fabricació, es varia cada cert temps la direcció d'alineació dels àtoms. L'aspecte és d'una amalgama de cristalls de diferents tons blaus i grisos amb brillantor metàl·lica. El rendiment és inferior al 12% i, les cèl·lules solen ser més econòmiques.

En el **Silici amorfa** no hi ha ordre en la disposició dels àtoms, per tant, la cèl·lula no té una estructura cristal·lina regular. Es disposa una capa fina sobre un suport transparent, i és de color marró o gris fosc. El rendiment és pròxim al 6% i, es sol usar en calculadores i altres objectes de poc consum.

---

#### 1.5. FACTORS QUE INFLUEIXEN EN EL BAIX RENDIMENT DE LES CÈL·LULES SOLARS

Tot i que ens arriba una gran quantitat d'energia en forma de radiació solar, hi ha una part molt important d'aquesta energia que no es pot aprofitar. Hi ha múltiples fenòmens físics inherents a la generació d'electricitat, i per tant, si tenim en compte que el rendiment és el quocient entre l'energia aprofitada i l'energia incident, aquest és molt baix. Els principals factors que influeixen en aquest baix rendiment són:

##### 1. L'energia dels fotons incidents que arriben del Sol.

L'efecte fotoelèctric explica que la radiació sobre un material no sempre permet l'alliberament d'electrons. No tots els fotons procedents del Sol són capaços d'alliberar els electrons de la capa de valència del Silici, ja que només aquells fotons amb una longitud d'ona ( $\lambda$ ) inferior a 1,1  $\mu\text{m}$  (alguns rajos infrarojos, la llum visible i altres radiacions més energètiques) tenen l'energia suficient per alliberar els electrons de valència de l'enllaç covalent. La resta de fotons exciten el material però no alliberen electrons (només l'escalfen). Aquesta limitació associada a la freqüència llindar del Silici representa el 50% de l'energia total perduda.

##### 2. Pèrdues per reflexió.

La quantitat de llum reflectida acostuma a ser del 30%. Per tant, les cèl·lules es recobreixen amb materials que minimitzin aquesta reflexió, i es pot arribar a reduir les pèrdues només al 10%.

##### 3. Pèrdues per recombinació.

Part dels electrons del Silici alliberats amb l'Efecte Fotoelèctric ocupen de nou buits propers de la zona P a mesura que es desplacen per aquest medi. Aquest fet es coneix com la **recombinació electrònica** i suposa el 15% del total de les pèrdues.





#### 4. Pèrdues per contacte elèctrics.

El fet de dotar a la cèl·lula de contactes que canalitzin l'electricitat produïda cap al circuit exterior fa que minvi part de la seva superfície de captació. Les pèrdues solen ser d'un valor mitjà del 8%, però depenen del disseny de la cèl·lula.

#### 5. Pèrdues per resistència elèctrica.

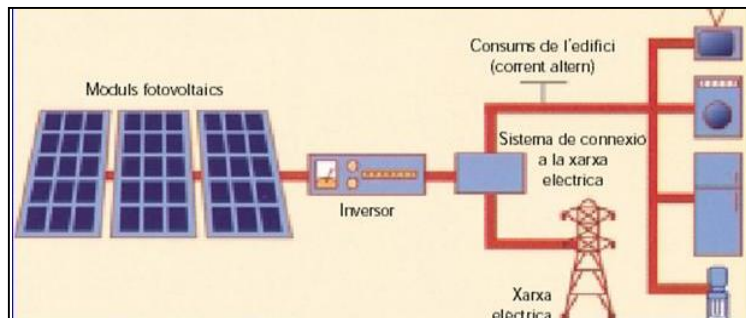
Degut a l'**efecte Joule** que es produeix al circular el corrent elèctric pel Silici, part de l'energia es dissipa en forma d'escalfament fruit dels xocs dels electrons amb els nuclis i altres electrons. Representen un 2% del total de pèrdues.

## 2. ESTUDI DELS SISTEMES SOLARS FOTOVOLTAICS (FV)

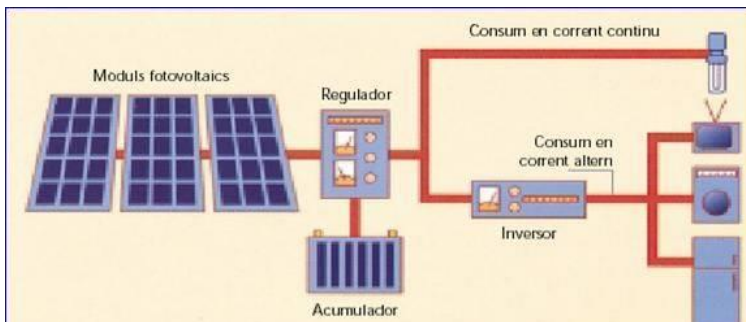
### 2.1 QUIN TIPUS DE SISTEMES FV HI HA?

Existeixen diferents maneres de concebre una instal·lació Solar Fotovoltaica, i per tant, hi haurà diferents tipus de sistemes en funció de quines siguin les necessitats de cada situació. Una manera de classificar aquests sistemes és si estan connectats a la xarxa o bé si són instal·lacions autònomes.

En les **instal·lacions connectades a la xarxa** l'electricitat sobrant (aquella que es genera i no es consumeix) es ven a la xarxa elèctrica general. Les instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica poden ser, o bé Centrals solars fotovoltaïques o bé estar integrades en edificis.



Les **instal·lacions autònomes** són les habituals en zones aïllades de les xarxes de distribució. L'energia s'acumula en bateries per fer-ne ús en el moment que es necessiti. Algunes d'aquestes instal·lacions són autònomes al 100%, mentre d'altres compten amb un grup electrogen de recolzament.



#### Centrals solars fotovoltaïques

Les centrals solars estan formades per un grup de mòduls solars fotovoltaics col·locats estratègicament en una zona de màxima insolació. La finalitat és produir energia elèctrica durant les hores d'insolació. La totalitat de l'energia que generen aquestes centrals es subministra a la xarxa elèctrica per a poder distribuir-la pel territori. L'energia produïda en una central solar es barreja amb l'electricitat que es genera en la resta de centrals elèctriques, sense cap diferenciació. En l'actualitat, els costos d'una central solar són superiors als de les centrals convencionals, fet que dificulta la proliferació d'aquestes.



### Edificis amb instal·lacions integrades

Integrar cèl·lules solars en els elements estructurals d'un edifici comporta estalvis econòmics importants pel que fa a la instal·lació solar, ja que, el fet que la producció d'electricitat es faci en el mateix lloc on es consumeix, s'eviten pèrdues en el transport i la sobrecàrrega de les línies. També cal tenir en compte que la instal·lació de plaques Solars Fotovoltaïques integrades en el paisatge urbà fa que la societat s'adoni de les possibilitats de l'energia solar per a produir electricitat d'una manera més sostenible des d'un punt de vista mediambiental.



### Instal·lacions solars fotovoltaïques autònomes

Les instal·lacions Solars Fotovoltaïques autònomes al 100 % són les més habituals en llocs de pocs recursos econòmics i de llocs remots on és difícil portar recanvis i/o combustibles. Ara bé, quan es presenten períodes d'ennuvolament prolongat (més de cinc dies) es corre el risc que el consumidor es quedi sense subministrament d'electricitat. Per això, per garantir un subministrament elèctric, moltes d'aquestes instal·lacions compten amb grups electrògens de recolzament. El grup electrogen pot servir per a recarregar les bateries les quals són les que sempre subministren l'energia a l'usuari i, però el grup electrogen també pot servir funcionant al marge de les bateries. Aquesta última opció s'usa molt per al subministrament de grans consums puntuals (màquina eina, soldadura, munyidores...).



## 2.2. QUINS SÓN ELS ELEMENTS D'UN SISTEMA FOTOVOLTAIC?

Els elements d'un sistema FV seran uns o altres en funció del tipus de sistema que es tracti.

Sistema fotovoltaic connectat a la xarxa	Sistema fotovoltaic autònom
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mòdul solar fotovoltaic</li> <li>- Inversor o ondulador de cc/ca</li> <li>- Connexió a la xarxa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mòdul solar fotovoltaic</li> <li>- Acumulador</li> <li>- Regulador de càrrega</li> <li>- Inversor o ondulador de cc/ca</li> </ul>

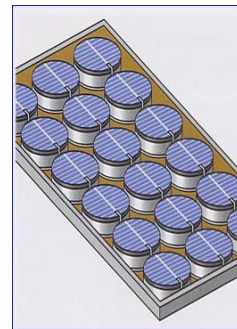


## El mòdul solar FV o placa solar FV.

Són els elements de la instal·lació solar encarregats de transformar l'energia del sol en electricitat de corrent continu de manera directa. Els mòduls estan formats per un conjunt de cèl·lules solars, i generalment n'hi ha 36. La col·locació de les cèl·lules solars és en sèrie o paral·lel. Per a les plaques estàndard, les cèl·lules es solen connectar en sèrie i, per a plaques de gran potència, es connecten en paral·lel grups de cèl·lules connectades en sèrie.

Un mòdul solar fotovoltaic té una potència nominal de corrent continu que va des dels 5 Wp als 165 Wp, en funció del fabricant. Els mòduls donen, generalment, un voltatge de referència, o nominal, de 12V en corrent continu. Les connexions dels mòduls solars fotovoltaics segueixen les regles bàsiques de l'electricitat, i es poden agrupar per tal d'assolir unes característiques d'intensitat i voltatge desitjades en:

- Sèrie: així es manté la mateixa intensitat i es suma el voltatge dels mòduls.
- Paral·lel: es manté el voltatge (12V) i es suma la intensitat dels mòduls.
- Configuracions mixtes: es connecten en sèrie grups de mòduls connectats en paral·lel entre sí.



Normalment s'acostuma a buscar configuracions en les que el voltatge sigui el més baix possible i la intensitat màxima (calculada en curtcircuit) no superi els 50 A. Cal tenir en compte que superar els 48V en corrent continu pot ser perillós per les persones.

Les cèl·lules solars es troben encapsulades entre una coberta de vidre temperat i varies capes de material plàstic d'EVA (etilen-vinil-acetat). La coberta exterior és la que protegeix el mòdul dels agents atmosfèrics. S'utilitza vidre temperat ja que resisteix molt bé els impactes i té una excel·lent transmissió a la radiació solar, i sol tenir un gruix de 4 mm. El plàstic EVA és un material que proporciona una excel·lent transmissió a la radiació solar i una nul·la degradació davant de les radiacions ultraviolades.

També existeix una coberta posterior per a la protecció contra els agents atmosfèrics. Sol ésser de materials acrílics i de color blanc, el que afavoreix el rendiment del mòdul gràcies al reflex en les cèl·lules. El conjunt es reforça amb perfils metàl·lics que formen un marc exterior que dona fermesa i facilita la col·locació del mòdul a una estructura de suport.

## L'acumulador o bateria

L'energia captada durant les hores de sol és emmagatzemada en acumuladors o bateries. Aquests aparells tenen càrrega i descàrrega contínua i, tenen prou capacitat per a assegurar el subministrament d'electricitat durant els períodes de nuvolositat abundant.

Les funcions principals dels acumuladors són:

- Mantenir estable el voltatge de la instal·lació.
- Subministrar una potència instantània superior a la dels mòduls solars.
- Subministrar energia quan no hi ha radiació solar.



Els acumuladors més usats són els de plom/àcid, que estan formats per uns elèctrodes de plom immersos en una solució electrolítica (aigua amb àcid sulfúric). El conjunt que forma una parella d'elèctrodes (+) s'anomena cel·la o vas de bateria i, proporciona un potencial elèctric nominal de 2V. En realitat, el

voltatge varia en funció de l'estat de la càrrega fluctuant entre valors d'1,85V (bateria descarregada) a 2,40V (bateria carregada).

La connexió en sèrie d'un grup de cel·les permet obtenir acumuladors de voltatges diversos (6, 12, 24V...). La capacitat d'acumulació d'una bateria és el producte de la intensitat de descàrrega pel temps que la bateria podrà mantenir-la. S'expressa en Ah (Amperes hora).

Per tant, teòricament una bateria de 100Ah podrà subministrar un corrent d'1A durant 100h o, 2A durant 50h, etc. Però en la pràctica, les bateries varien la seva capacitat de càrrega en funció de quin és el règim de descàrrega. Òbviament, el procés de descàrrega no serà el mateix si es manté un nivell de descàrrega suau (100h) o, si per al contrari, es manté un nivell intens (5h). Com més curt sigui el temps de descàrrega, menys eficient serà la descàrrega degut a l'escalfor de les plaques conductores i al desordre intern produït.

Els principals inconvenients que tenen les bateries o acumuladors són:

- La problemàtica ambiental de l'eliminació del plom, metall altament tòxic.
- L'efecte memòria de les bateries: si el temps de descàrrega és menor, la capacitat de càrrega de les bateries disminueix.
- L'eficiència real de les bateries és força llunyana de la teòrica.
- És un element costós de la instal·lació: sol representar el 16% del cost d'una instal·lació solar fotovoltaica autònoma.

### **Regulador de càrrega**

El regulador de càrrega controla la càrrega de l'acumulador evitant que es produeixin sobrecàrregues o descàrregues excessives. Les dues funcions principals d'aquests dispositius electrònics són:

- Protecció contra sobrecàrrega de l'acumulador (tall per alta): és la funció bàsica dels reguladors. Evita que la bateria s'escalfi, que perdi aigua de l'electròlit i que les plaques s'oxidin.
- Desconnexió per bateria baixa (tall per baixa): es talla el subministrament de corrent elèctric cap al consumidor si el nivell de càrrega de la bateria és massa baix. Això podria provocar una descàrrega profunda el que originaria problemes de sulfatació.

A més a més, els reguladors també incorporen els sistemes de protecció necessaris en qualsevol instal·lació elèctrica (contra curtcircuits, sobretensions, etc.).

### **Inversor o ondulador de cc/ca**

Les cèl·lules solars generen corrent continu, i aquest corrent continu s'haurà de convertir en corrent altern, tant si es vol utilitzar aquest corrent per alimentar equips de consum en general (electrodomèstics, motors, etc), com si es vol per subministrar corrent a la xarxa elèctrica. L'aparell que s'usa per a realitzar la conversió s'anomena inversor o ondulador de corrent continu a corrent altern. L'inversor és un dispositiu electrònic que té com a funció principal convertir el corrent continu (cc) que generen els panells en corrent altern (ca) de 220V i 50Hz de freqüència, és a dir, el voltatge i freqüència de la xarxa elèctrica.



Hi ha diferents tipus de convertidors. Bàsicament es distingeixen pel tipus d'ona que adopta el corrent altern (quadrada o sinusoidal), o bé per la potència en corrent altern que pot proporcionar l'equip a la sortida (la gamma d'inversors que hi ha en el mercat va des dels 150W als 8.000W).

Els ondulators de corrent són necessaris perquè disposar d'energia elèctrica en forma de corrent altern comporta una sèrie d'avantatges i d'inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Dóna un punt de normalitat ja que és fa servir a tot el món.</li><li>- Es poden mantenir valors estables de voltatge i forma d'ona, tot i la variabilitat de l'estat de càrrega de les bateries.</li><li>- Com que es treballa amb voltatges superiors (220V és 18 vegades 12V), es pot treballar amb corrents elèctrics baixos i, per tant, es poden fer servir conductors més primers, proteccions habituals i es minimitzen les pèrdues energètiques per l'escalfament dels conductors (efecte Joule).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disminueix la fiabilitat de la instal·lació: si el convertidor falla l'usuari no tindrà subministrament a 220V.</li><li>- S'ha de generar més electricitat en els mòduls per compensar les pèrdues energètiques del convertidor (rendiment global varia en un 5%)</li><li>- Els convertidors, sobretot els més econòmics, solen donar problemes d'acoblament elèctric amb alguns aparells electrònics, el que provoca sorolls força molestos que són difícils d'eliminar.</li></ul>

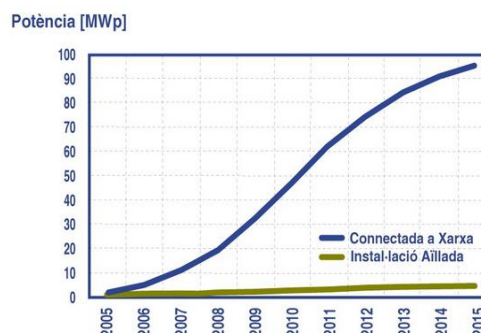
#### Sistema de connexió a xarxa

Quan un edifici incorpora una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica, passa a tenir dos circuits elèctrics diferenciats. El circuit convencional és el que consumeix electricitat de la xarxa, i el circuit solar és l'associat a l'electricitat produïda en funció de la radiació incident de cada moment. Aquesta energia produïda es comptabilitza i s'envia cap a la xarxa per al seu ús per part de qualsevol usuari, inclòs el propi productor. Per tant, l'edifici en qüestió és alhora un consumidor i un productor d'energia elèctrica. S'estableix una relació de compravenda d'energia elèctrica entre l'usuari i la xarxa elèctrica. Aquesta relació està regulada per les institucions competents.

### 3. L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA A CATALUNYA.

#### a) La situació actual de les instal·lacions i previsions de futur.

Les primeres instal·lacions d'aquesta mena a Catalunya van ser a mitjans dels anys 70, i tenien com a objectiu l'electrificació rural de nuclis allunyats de la xarxa elèctrica. Als anys noranta, diferents programes institucionals van fomentar-ne la instal·lació d'una manera més general. A partir de l'any 2000 es va produir un salt qualitatiu en el nombre d'instal·lacions i en la potència que se'n genera, ja que ha entrat en funcionament un nombre molt important d'instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica. En part, ha estat degut al desenvolupament d'una normativa favorable, i a més a més, per les primes econòmiques que actualment poden cobrar els usuaris per la seva producció. En els darrers anys ha augmentat el nombre d'instal·lacions realitzades i també el nombre d'empreses del sector, arribant a uns 2.000 kWp



per any de potència fotovoltaica instal·lada (un increment anual equivalent a la superfície d'un camp de futbol petit). Les previsions de creixement de l'energia solar fotovoltaica segons els resultats previstos al Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 són d'arribar als 100 MWp instal·lats l'any 2015, dels quals, 47 MWp equivaldrien a la instal·lació de granges o parcs solars, 25MWp a instal·lacions en edificis del sector terciari de nova construcció (escoles, edificis del sector turístic, esportiu i en grans superfícies comercials), 13 MWp al sector domèstic, 10 MWp en el sector industrial i 5MWp per al subministrament de nuclis rurals aïllats.

#### **b) Petita valoració econòmica.**

**Costos:** Actualment, el cost de la inversió per aquesta instal·lació solar fotovoltaica s'estima entre 14332 € i 18000 €, en el qual s'inclou la instal·lació de tots els equips necessaris pel correcte funcionament, l'estructura, els costos d'enginyeria, el muntatge i la gestió per la tramitació de la legalització de la instal·lació a Catalunya.

**Beneficis:** Segons la normativa vigent les instal·lacions domèstiques (que tenen una potència nominal inferior a 100kWp) pot gaudir d'una prima de 0,44 Euros per cada kWh generat. Per altra banda, hem de considerar que una producció d'electricitat mitjana correspon a una energia d'entre 2550 kWh i 3000 kWh anuals. Si tota l'energia elèctrica produïda és venuda a la companyia elèctrica, es generaran uns ingressos anuals aproximats per l'usuari entre 1125 €/any i 1325 €/any, respectivament. Per tant, el període d'amortització d'una instal·lació d'aquestes característiques està entre els 12 i els 20 anys.

#### **ENLLAÇOS D'INTERÈS:**

Gràfic de l'evolució de la eficiència de les cèl·lules fotovoltaïques al llarg dels anys:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Evoluci%C3%B3n\\_c%C3%A9lulas\\_solares.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Evoluci%C3%B3n_c%C3%A9lulas_solares.jpg)

Bloc personal entorn l'Energia Solar Fotovoltaica

<http://jumanjisolar.blogspot.com/>

Dades de la Comissió Europea de Radiació Solar

<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang=es&map=europe>

Pàgina web general sobre Energia Solar Fotovoltàica.

<http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/>

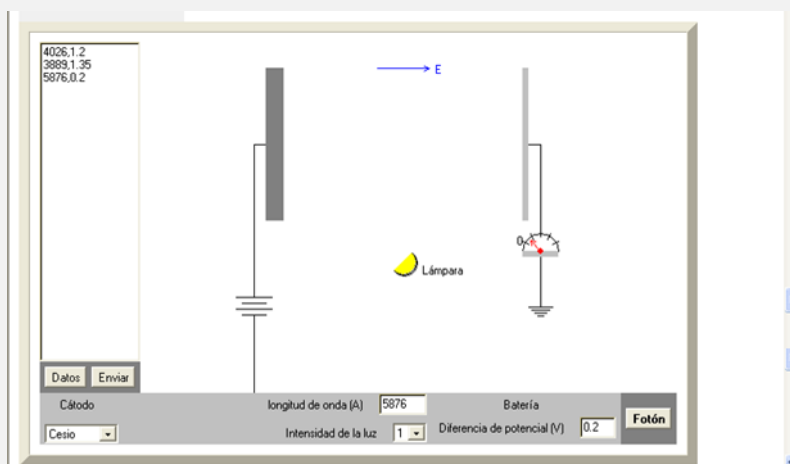
## ACTIVITAT 1: ESTUDI DE L'EFFECTE FOTOELÈCTRIC.

**Objectius:** Conèixer els principis físics que expliquen el fenomen de producció d'electricitat a l'interior d'una cèl·lula solar fotovoltaica a partir de la manipulació d'una simulació interactiva.

Si aneu a la següent pàgina web, podreu obtenir informació associada a l'efecte fotoelèctric, i realitzeu la pràctica, que simula l'experiment realitzat per R. Millikan el 1916:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>

En la pràctica que ens proposen, el què es pretén és frenar els fotons que surten alliberats de la placa de metall amb una certa energia que depèn de la freqüència (o la longitud d'ona) de la llum incident. Per frenar-los, s'ha col·locat una bateria que crea un camp elèctric que s'oposa al moviment dels electrons i els atura. **Si aconseguim que els electrons arribin amb velocitat nul·la a l'altre extrem de la bateria, llavors podem considerar que la diferència de potencial que s'ha aplicat entre els extrems de la bateria equival a l'energia cinètica que tenia l'electró a l'ésser alliberat.** Realitzeu l'activitat per a dos materials diferents del càtode i calculeu el valor de la constant de Planck i el valor de l'Energia Llindar per arrancar els electrons de dos materials del càtode diferents.



Un cop hagueu realitzat l'experiència corresponent per a dos materials diferents, completeu la taula i contesteu a les següents preguntes.

Metall	Energia llindar (eV)	Constant de Planck (Js)
	-punt de tall en l'eix d'ordenades-	-pendent de la recta $\times$ càrrega de l'electró-

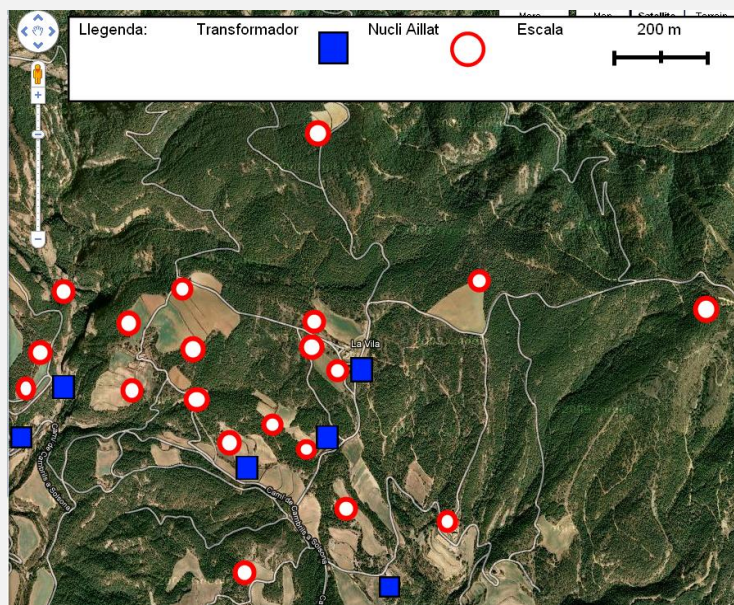
Explica breument (5 o 6 frases) què representa aquesta simulació, com la interpretes i quines conclusions n'extreus. Pots comentar la seva validesa, les seves limitacions i què té en comú i què té de diferent amb el fenomen que succeeix a l'interior d'una cèl·lula fotovoltaica.



## ACTIVITAT 2: L'ELECTRIFICACIÓ RURAL A CATALUNYA.

Els habitants d'algunes zones de l'interior de Catalunya, especialment de zones de muntanya allunyades dels nuclis de població, pateixen un seguit de dèficits d'infraestructures i de serveis que han estat sovint causa directa del seu despoblament. Un d'aquests serveis essencials és el subministrament elèctric. Fins als anys 80, l'únic sistema considerat a l'hora de realitzar l'electrificació rural (a part de l'ús puntual d'equips electrògens) era el perllongament de la xarxa elèctrica fins l'emplaçament. La gran distància existent entre casa i casa, afegida a un terreny sovint abrupte, fa que el cost per quilòmetre de línia sigui molt alt. Segons alguns pressupostos de diferents companyies que treballen a la Garrotxa, el preu mitjà de la construcció d'una línia elèctrica és de 40 euros per cada metre. Si, a més a més, la línia supera els 800 metres, ja que cal una línia de mitja o alta tensió. En aquests casos, el preu de cada metre de línia elèctrica supera els 70 euros. A més a més, hi ha els costos de manteniment, d'accés a algunes zones (boscós, pendent...) i el cost ecològic i estètic que comporta la construcció d'una línia d'aquestes característiques.

Suposem que ens trobem en una vall del Solsonès on hi ha diferents masies corresponents a nuclis habitats aïllats. Les companyies elèctriques tenen l'obligació de fer arribar l'electricitat a tots aquells habitatges que es trobin dintre d'una **Zona Urbana amb condició de solar**. En el cas que no es trobin en una zona d'aquestes característiques, la companyia elèctrica negocia amb els propietaris de l'habitatge el cost de la construcció de la línia elèctrica. Si el cost mitjà total d'una instal·lació Solar Fotovoltaica és de 18.000 euros per a un habitatge aïllat, en quin dels següents casos serà més econòmic la instal·lació d'aquests sistemes en comptes d'utilitzar la línia elèctrica convencional?

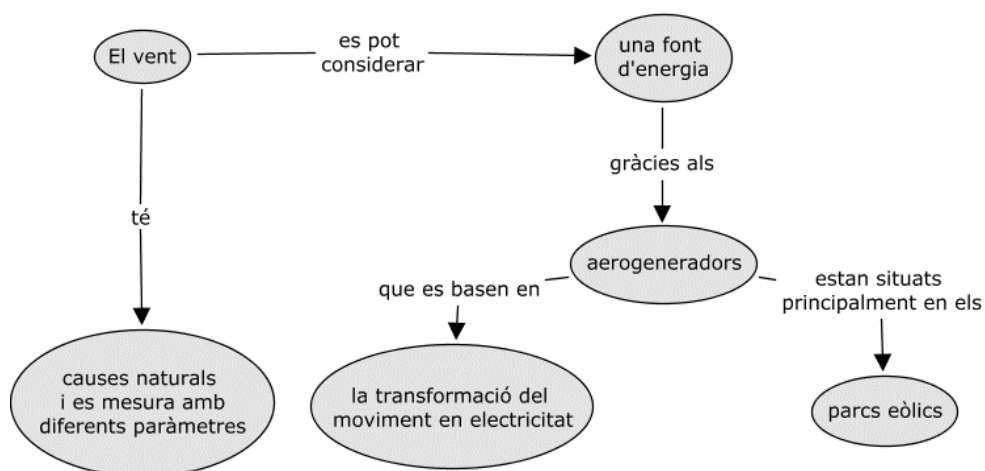


Pots fer aquest càlcul tenint en compte l'estalvi econòmic que suposa la generació d'electricitat pròpia o es pot fer simplement calculant els costos de les diferents modalitats d'instal·lació.





## SESSIÓ 5: EL VENT COM A FONT D'ENERGIA, ELS AEROGENERADORS I ELS PARCS EÒLICS



## 1. ORÍGENS I CARACTERÍSTIQUES DEL VENT

Les diferents característiques del nostre planeta (latitud, rotació, orografia...) fa que no només s'absorbeixi de forma desigual l'energia del Sol, sinó que això provoqui diferents nivells de temperatura i pressió en l'atmosfera. Aquestes diferències comporten canvis, i en aquest cas, els canvis són desplaçaments d'aire. Tot i que en l'origen d'aquests desplaçaments d'aire hi ha moltes variables i condicionants, podem parlar de fenòmens més globals i fenòmens més locals.

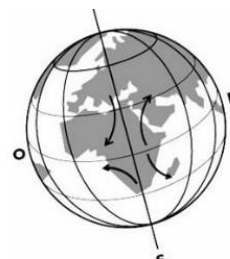
### 1.1. ORIGEN DEL VENT A ESCALA GLOBAL.

#### a) La radiació solar

La Terra no s'escalfa d'una manera homogènia, ja que arriba molta més radiació solar als tròpics i a l'equador que no pas als pols. Per tant, els gradients de temperatura que apareixen en l'atmosfera porten a grans masses d'aire a desplaçar-se.

#### b) La rotació de la terra

La rotació de la Terra al voltant de l'eix nord-sud fa que els desplaçaments dels corrents d'aire no segueixin trajectòries verticals quan es desplacen paral·lelament als meridians, sinó que es desviïn lleugerament degut a les acceleracions implícites en un moviment circular. Aquesta lleugera desviació de la trajectòria es produeix cap a l'est quan el moviment d'aire s'allunya de l'equador, i la desviació és cap a l'oest quan el moviment s'acosta a l'equador. Aquest fenomen va ser interpretat a principis del s. XIX i va ser anomenat com a Força de Coriolis en referència al matemàtic que va formular les equacions que explicaven aquestes desviacions de la trajectòria.



#### c) Les diferències de pressió a escala planetària.

La diferent densitat que tenen les masses d'aire en funció de la seva temperatura comporta l'aparició de complexos fenòmens de convecció en tota la superfície de la Terra. Les masses d'aire calent tendeixen a elevar-se, mentre que les masses d'aire fred (major densitat) descendeixen. A l'equador, al ser una franja de pressions baixes, es crea l'anomenada Zona de convergència intertropical, i tant a l'hemisferi nord com a l'hemisferi sud apareixen entorn als 30º de latitud zones anticiclòniques amb grans masses d'aire que baixen, creant un clima de calma i escasses precipitacions (per exemple, al nord d'Àfrica). Entorn a les latituds de 50º i 60º (nord d'Europa) es produeix un xoc entre els vents càlids tropicals i els vents polars. Al mediterrani, per tant, es troba en una zona temperada on es combinen els fronts freds i els fronts càlids.

Aquesta combinació provoca l'aparició tant d'anticiclons (grans masses d'aire amb una pressió alta associades a un temps assolellat a l'estiu i fred a l'hivern) com de depressions o borrasques (on l'aire ascendeix produint-se la condensació sobtada de l'aigua i provocant precipitacions). Degut a la força de Coriolis les conveccions d'aire (tant ascendents en les depressions com descendents en els anticiclons) esdevenen circulars, tal i com ens tenen acostumats els mapes



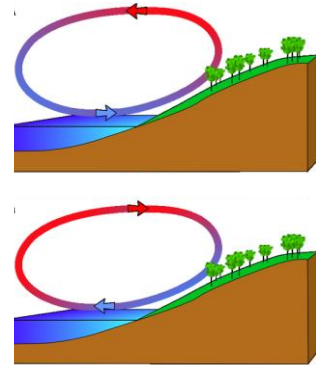
d'isòbares del Temps. A l'hemisferi nord es produeix un desplaçament d'aire de zones d'alta pressió (A) cap a zones de baixa pressió (B). Ara bé, la força de Coriolis desviarà aquesta trajectòria convertint-la en moviments circulars en sentit horari entorn els anticiclons i en sentit antihorari al voltant de les

borrasques. Aquest fenomen és el causant de la major part de les condicions meteorològiques al clima mediterrani. Tot i així, també hi ha fenòmens locals que expliquen l'aparició del vent en funció de la orografia local.

## 1.2. ORIGEN DEL VENT A ESCALA LOCAL.

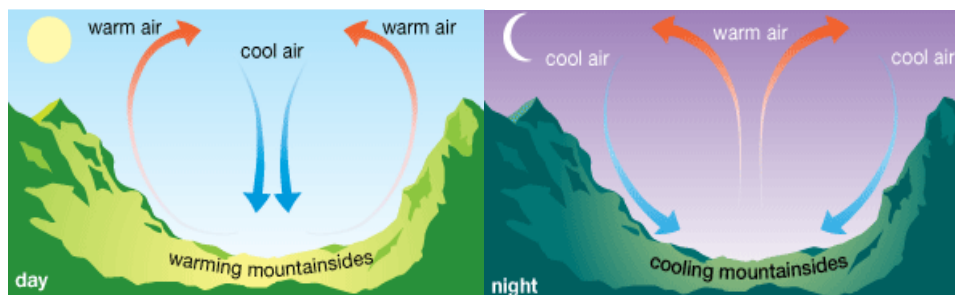
### a) El gradient de temperatura entre el mar i la terra.

Els materials que conformen la superfície de la terra acostumen a tenir una capacitat calorífica inferior a la de l'aigua. Això vol dir que aquestes materials s'escalfen i es refreden amb una major rapidesa que l'aigua. Per tant, durant el dia l'aire de la terra s'escalfa i ascendeix, creant un corrent de convecció que s'anomena Brisa de mar. En canvi, durant la nit, l'aigua conserva millor la temperatura, i es genera un corrent en sentit contrari, anomenat Brisa de terra. El vent generat en aquests gradients de temperatura és suau (fins a 5 m/s) però es poden notar fins a 50 km de la costa.



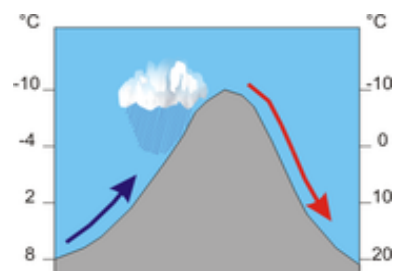
### b) Les brises de vall i muntanya.

Un fenomen semblant succeeix entre les valls i les muntanyes, ja que l'aire dels cims s'escalfa més ràpidament durant el dia, però es refreda més ràpidament a la nit. D'aquesta manera, es produeixen conveccions d'aire que produeixen brises, però que també acostumen a ser suaus.



### c) Els vents de Foehn

Les masses d'aire en moviment no només ascendeixen o descendeixen per causa de variacions en la pressió, sinó també quan hi ha obstacles orogràfics que així ho imposen. En les grans serralades apareixen canvis bruscos de temperatura (primer un refredament que comporta precipitacions i després un escalfament), que en el cas dels Pirineus s'anomena vent fogony.



## 1.3. CARACTERÍSTIQUES DEL VENT

Després de veure les principals causes que originen aquest fenomen meteorològic, repassem breument les característiques del vent, com el podem mesurar i representar aquestes mesures.

### a) Eines per a mesurar el vent.

Sense mesura directa: l'Escala Beaufort és una escala qualitativa que serveix per determinar la intensitat del vent. Aquesta escala compta amb 12 nivells d'intensitat, que equivalen a una velocitat que va des dels 0 fins a vents superiors als 130 km/h. El valor de la intensitat del vent es calcula a partir dels efectes visibles en l'entorn, i és una escala especialment útil per mesurar l'estat de la mar per a la navegació.

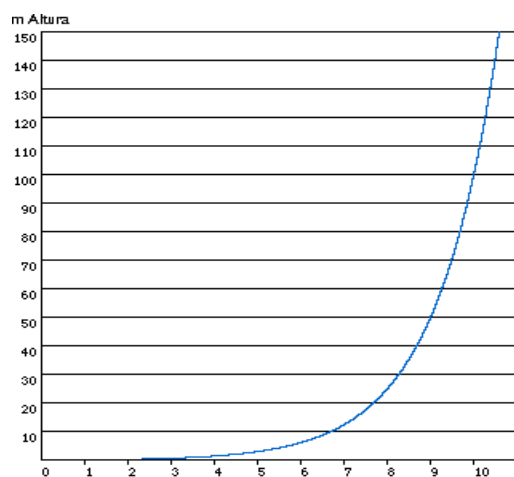
Mesura de la intensitat de la velocitat del vent:

L'anemòmetre de cassoles mesura la velocitat a partir del número de voltes per unitat de temps.	L'anemòmetre de filament de platí o níquel serveix per calcular la velocitat del vent a partir de la temperatura i la resistència elèctrica del filament.	L'anemòmetre Laser mesura la velocitat mitjana de les partícules d'aire a partir de l'efecte Doppler.
---	---	---

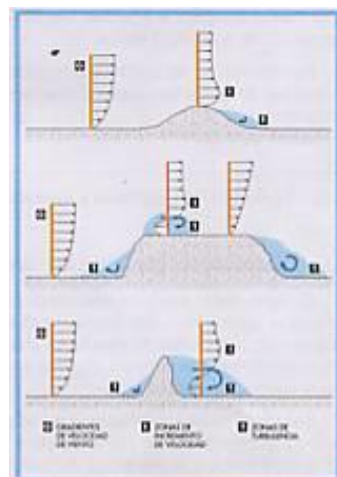
Mesura de la direcció del vent: Els penells eòlics serveixen per indicar i mesurar la direcció i el sentit del vent en cada moment.

### b) La variació del vent en funció de l'alçada i el temps.

En general, la velocitat del vent és diferent en funció de l'alçada, i com en qualsevol fluid, aquesta velocitat és menor en la superfície de contacte. A mesura que ens allunyem de la superfície del terra la velocitat del vent és major, i això serà determinant a l'hora de triar l'alçada adequada per als sistemes de captació de l'energia procedent del vent. El gràfic de la variació de la velocitat en funció de l'altura s'anomena Perfil Vertical i indica com varia verticalment la velocitat del vent. De vegades, cert perfil del terreny, com ara l'encarat a la direcció predominant del vent, pot produir un increment en la velocitat del vent que supera les pèrdues degudes a la rugositat. En els tres casos següents, el Perfil Vertical inicial és el mateix i, varia en funció de la rugositat del terreny.



1. Dalt del turó arrodonit, el perfil mostra una velocitat superior prop de la superfície. Darrere el turó apareixen una zona de turbulències ja que el vent s'enterboleix quan ha d'omplir el "buit" provocat per l'apantallament del turó.
2. Dalt d'un altiplà escarpat, les turbulències fan que el vent canvi de sentit en els primers metres d'altura a causa de les turbulències accentuades pel terreny.
3. Darrera d'un turó escarpat les turbulències són també més accentuades, deformant-se totalment el Perfil Vertical del vent. Però, a certa distància del turó, fora de la zona de turbulències el perfil vertical del vent recuperarà la seva forma inicial.

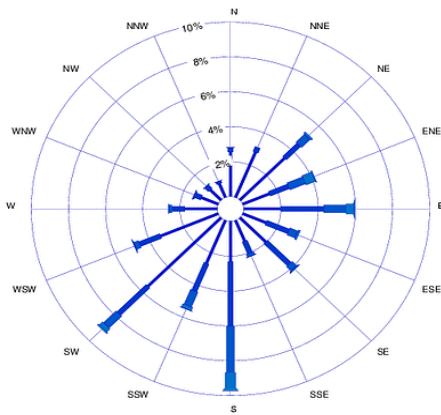




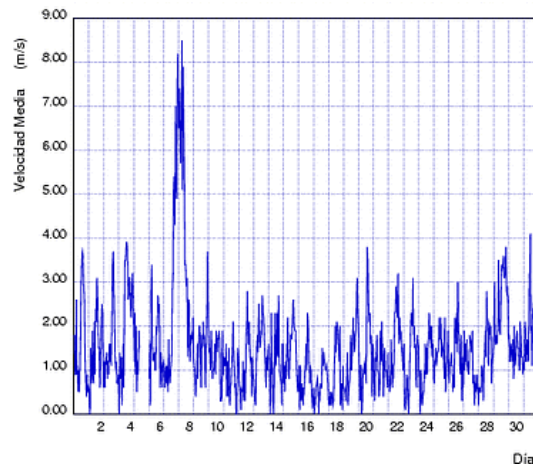
A més a més, el vent no és una font d'energia constant, ja que varia substancialment al llarg del dia, entre el dia i la nit i en funció de l'estació de l'any. Per això, per conèixer les característiques eòliques d'un terreny és important l'ús de dades estadístiques, en les que s'acostuma a utilitzar les dades provinents d'interval·ls curts de temps i repartits en el temps, ordenats en sèries que van des dels 5 anys (sèries representatives) fins als 20 anys (sèries d'alt nivell de confiança).

### c) La representació de la mesura del vent.

De la mateixa manera com en la sessió 2, 3 i 4 varem estudiar les taules de Radiació Solar, existeixen diferents maneres de reflectir la intensitat i la direcció del vent. En l'activitat que hi ha a continuació (opció 2) en veurem alguns exemples.



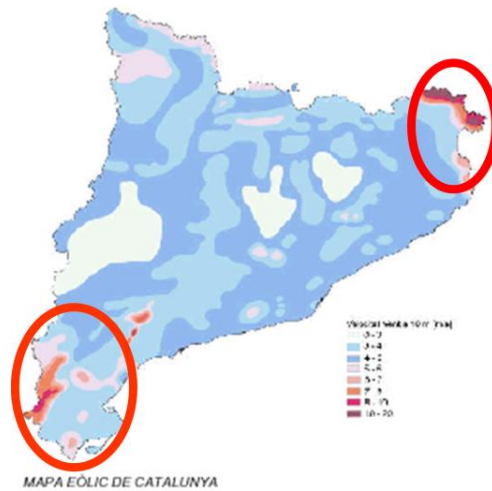
Rosa dels vents on es representa la direcció mitjana del vent i la seva velocitat a Barcelona.



Gràfica de la velocitat mitjana del vent en funció dels dies d'un mes de juny a Barcelona.

## 1.4. EL VENT A CATALUNYA

A finals dels anys vuitanta es va fer a Catalunya un estudi exhaustiu per conèixer el potencial eòlic d'aquest territori, i es va generar l'Atlas Eòlic de Catalunya, en el qual hi ha dades obtingudes en 83 emplaçaments. Els resultats d'aquest estudi es van recollir en el Pla Director de Parcs Eòlics a Catalunya (1997-2010) i no només tenen en compte el potencial del vent sinó també la viabilitat de construir parcs eòlics (ho veurem en la sessió 6). El Mapa eòlic Català indica que el recurs eòlic és viable econòmicament (amb la generació actual de generadors) en determinades àrees del territori que són l'Empordà, el sud del camp Tarragoní i les Terres de l'Ebre. Actualment, tal i com veurem en la sessió 6, els principals centres d'explotació eòlica en funcionament estan situats a les comarques del sud del Principat de Catalunya.

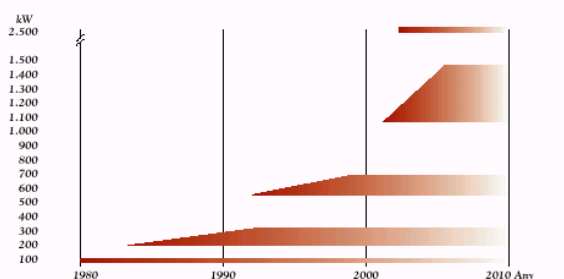


## 1.5. EL VENT COM A RECURS: DEL MOLÍ A L'AEROGENERADOR.

Les primeres referències històriques de molins de torre a Europa daten del s. XII, construccions molt importants fins a l'època de la revolució industrial. Aquestes construccions van ser ideades per a moure grans moles utilitzades per a moldre gra. A partir de la segona meitat del s.XIX també van aparèixer als EEUU els molins multipala (farm windmills) usats majoritàriament per a bombejar aigua. A partir dels



anys cinquanta del s. XX van aparèixer els primers molins ideats per generar corrent elèctric, que van rebre el nom d'aerogeneradors. Forçats pels preus dels combustibles, països com Dinamarca i Alemanya van començar a investigar aquesta tecnologia després de la Segona Guerra Mundial. A partir del 1973, degut a la crisi del petroli, en molts indrets d'Europa es va incentivar l'ús d'aerogeneradors per obtenir energia renovable. Actualment, els aerogeneradors més utilitzats tenen una potència d'entre 600 i 750 kW, tot i que la darrera generació d'aerogeneradors (a partir de 1998) permet una potència de més d'un MW, que és equivalent al consum mitjà que realitzen 350 habitatges familiars.





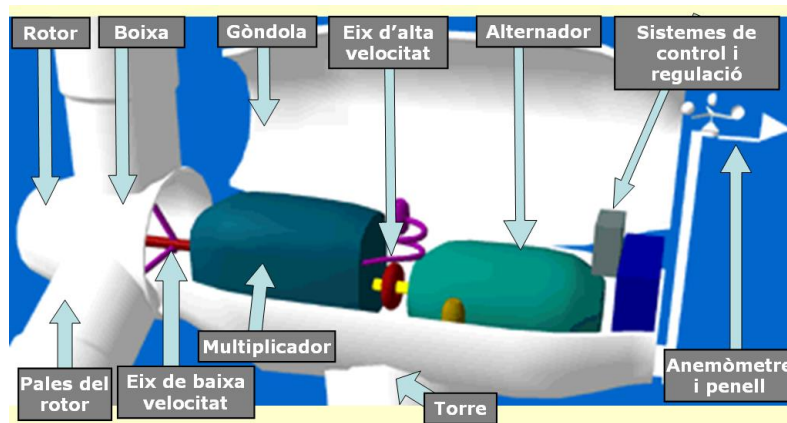
## 2. QUÈ ÉS UN AEROGENERADOR I COM FUNCIONA?

Un aerogenerador és un sistema dissenyat per generar electricitat a partir del vent. El seu principi fonamental es basa en el fet que el vent fa girar les pales, que estan unides a un eix horitzontal el qual també gira. A l'altre extrem de l'eix hi ha connectats uns imants els quals, al girar, indueixen un corrent elèctric que es connecta a una xarxa de distribució.



Aquest és el funcionament de flux-turbina, que és el mateix que s'utilitza en la majoria de centrals de generació elèctrica (centrals tèrmiques i nuclears, hidràuliques, geotèrmiques, etc.) però amb la diferència que en comptes d'una turbina moguda per aigua, aquesta vegada tenim pales mogudes pel vent.

En el següent esquema podem trobar els principals elements que intervenen en un aerogenerador:



**a) Gòndola (càpsula):** La gòndola conté els components clau de l'aerogenerador, incloent-hi el multiplicador i el generador elèctric. El personal de servei pot entrar a la gòndola des de la torre de la turbina. A l'esquerra de la gòndola s'hi veu el rotor de l'aerogenerador, és a dir, les pales i la boixa.

**b) Rotor:** Part de l'aerogenerador formada per les pales i per la boixa.

**c) Boixa:** La boixa és la peça que connecta les diferents pales i que, al estar acoblada a l'eix de baixa velocitat de l'aerogenerador, és l'encarregada de transmetre el moviment des de les pales cap a l'eix de baixa velocitat.

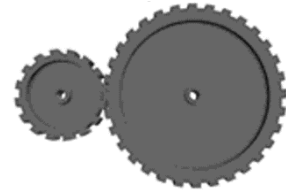
**d) Pales del rotor:** Les pales del rotor capturen part del vent i transmeten la seva potència fins a la boixa. En un aerogenerador modern de 600 kW cada pala mesura al voltant de 20 m de longitud i el seu disseny és molt semblant al d'una ala d'avió per optimitzar els efectes aerodinàmics.

**e) Eix de baixa velocitat:** L'eix de baixa velocitat de l'aerogenerador connecta la boixa del rotor al multiplicador. En un aerogenerador modern de 600 kW el rotor gira bastant lentament, entre 19 i 30 r.p.m.

**f) Multiplicador:** El multiplicador té a la seva esquerra l'eix de baixa velocitat. Fa que l'eix d'alta velocitat que està a la seva dreta giri entre 50 i 100 vegades més ràpid que l'eix de baixa velocitat. Si s'utilitzés un generador ordinari, sense multiplicador:



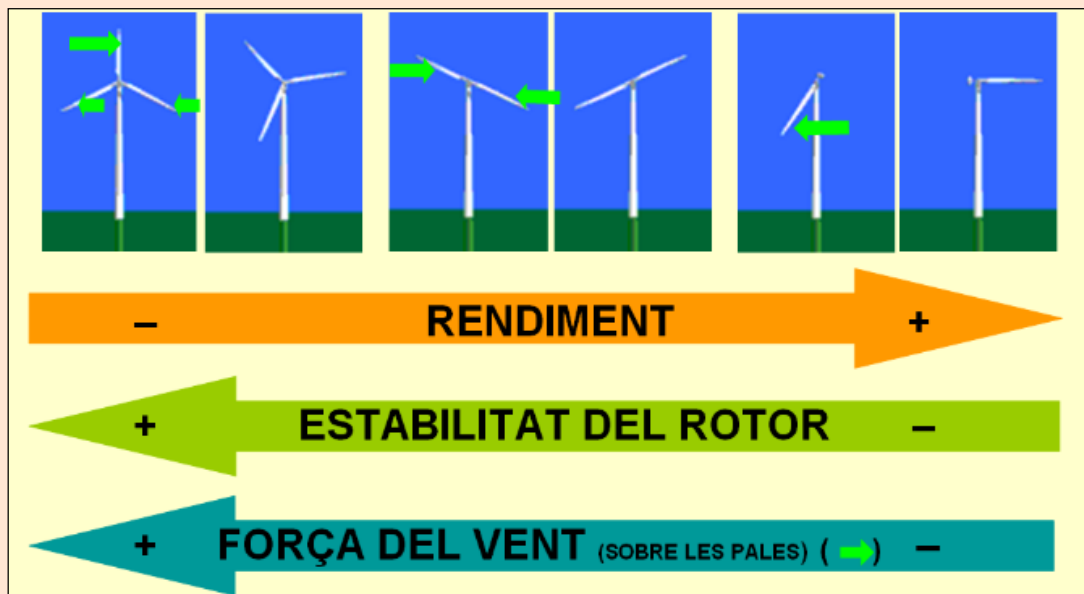
- caldria que l'eix de rotació girés a velocitats angulars extremadament altes (1000-3000 rpm) i, per tant, també les pales del rotor, cosa que és impossible.
- o bé, que el rotor del generador estigués compost d'un nombre molt gran de pals, el que implicaria un elevat cost



#### Perquè solen ser tripala els aerogeneradors?

Tot i que el rendiment augmenta quan disminueix el nombre de pales, la solució òptima es considera: rotor de 3 pales.

Actualment els enginyers eviten construir aerogeneradors amb un nombre parell de pales ja que un rotor amb un nombre parell de pales pot donar problemes d'estabilitat en una màquina que tingui una estructura rígida, degut a què en l'instant de temps en què la pala superior està rebent major empenta del vent (i es flexiona cap enrere), la pala inferior n'està rebent la mínima. Els aerogeneradors bipales construïts resolen aquesta manca d'estabilitat amb un rotor basculant.



En les mateixes condicions de vent, la força total que farà el vent sobre l'aerogenerador serà més gran com més pales tingui aquest. El parell d'arrencada és el parell de forces mínim que s'ha d'aplicar a les pales d'un aerogenerador per tal de vèncer la inèrcia i que s'iniciï la rotació. A menor nombre de pales, major és la força del vent necessària per iniciar la rotació.

**g) Eix d'alta velocitat i fre de disc:** L'eix d'alta velocitat gira aproximadament a 1.500 r.p.m., permetent el funcionament del generador elèctric. Està equipat amb un fre de disc mecànic d'emergència. El fre mecànic s'usa en cas de fallada del fre aerodinàmic, o durant les feines de manteniment de la turbina.

**h) Alternador:** Aparell generador de corrent alterna, és l'encarregat de transformar el moviment de l'eix d'alta velocitat en electricitat, és a dir, de generar corrent alterna.

**i) Torre:** La torre de l'aerogenerador suporta la góndola i el rotor. Generalment és un avantatge disposar d'una torre alta, ja que la velocitat del vent tendeix a augmentar a mesura que ens allunyem del nivell del sòl. Una turbina típica de 600 kW tindrà una torre de 40 a 60 m (l'alçada d'un edifici de 13 a 20 plantes!). Les torres poden ser torres tubulars, ja que són més segures per al personal de manteniment de les turbines que poden usar una escala interior per accedir a la part superior de la turbina.

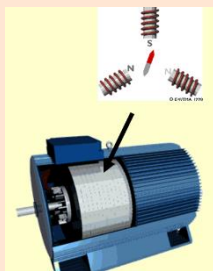


**j) Anemòmetre i penell:** L'anemòmetre i penell s'utilitzen per mesurar la velocitat i la direcció del vent. Els senyals electrònics de l'anemòmetre són usats pel controlador electrònic de l'aerogenerador per connectar l'aerogenerador quan el vent assoleix aproximadament 5 m/s. L'ordinador aturarà l'aerogenerador automàticament si la velocitat del vent excedeix un valor màxim.

#### Com es genera l'electricitat dins l'alternador?

Entre el 1820 i el 1830 diferents científics com Michael Faraday van analitzar què passava quan es modificava el camp magnètic produït per un imant. Van trobar que si un conductor qualsevol patia una variació del camp magnètic, sobre el conductor apareixia un voltatge que alhora produïa un flux de càrregues dins del conductor. És a dir, que movent un iman es podia generar electricitat. Aquest complex fenomen es va anomenar inducció magnètica, i és un dels comportaments de la natura més importants per explicar la generació d'electricitat.

L'exemple més senzill que podriem trobar d'inducció magnètica és el que ens mostra la imatge següent: Quan fem entrar i sortir un imant dins d'una bobina feta de fil de coure, si mesurem el voltatge que hi ha entre els extrems del fil de coure, podem observar com el voltatge varia en funció del moviment de l'iman. Si l'iman està "entrant" a la bobina el voltatge que apareix és positiu o negatiu, i si l'iman està "sortint" de la bobina, el voltatge que apareix té el sentit contrari. Aquest és un senzill experiment que es realitza a l'educació secundària.



El funcionament de l'alternador d'un aerogenerador és una mica més complex, però respon a aquest mateix principi. Aquest està format essencialment per dos elements: l'estator i el rotor. El rotor de l'alternador genera un camp magnètic és la part que girarà, com si es tractés de la ma que feia moure l'iman en l'exemple anterior. El rotor compta amb un iman en el seu interior, i per tant, a mesura que el rotor giri, el camp magnètic que crea l'iman també anirà variant. A l'estator (la part estàtica del dispositiu) hi hha un seguit d'espires, com si es tractés de la bobina de coure de l'exemple anterior. Com que la variació del camp magnètic afecta a aquestes espiras, en elles s'indueix un corrent elèctric. Per tant, ja tenim l'electricitat! El disseny de l'alternador és l'adequat perquè el corrent elèctric generat compleixi amb els requisits de la xarxa, és a dir, que sigui corrent altern trifàsic i amb una freqüència de 50 Hz.

**k) Unitat de refrigeració:** La unitat de refrigeració conté un ventilador elèctric usat per refredar el generador elèctric. A més conté una unitat de refrigeració de l'oli usada per refredar l'oli del multiplicador. Algunes turbines tenen generadors refredats per aigua.

**l) Sistema hidràulic:** El sistema hidràulic és usat per restaurar els frens aerodinàmics de l'aerogenerador.

**m) Controlador electrònic:** El controlador electrònic té un ordinador que contínuament monitoritza les condicions de l'aerogenerador i que controla el mecanisme d'orientació. En cas de qualsevol disfunció (per exemple, un sobreescalfament en el multiplicador o en el generador) automàticament s'atura l'aerogenerador i es comunica amb l'ordinador de l'operari encarregat de la turbina a través d'un enllaç telefònic via mòdem.

**n) Mecanisme d'orientació:** És activat pel controlador electrònic, que vigila la direcció del vent usant un penell. Normalment, la turbina sols s'orientarà uns pocs graus cada vegada que el vent canvia de direcció.

### 3. QUÈ ÉS UN PARC EÒLIC I QUINES SÓN LES SEVES CARACTERÍSTIQUES?

Per començar, cal tenir en compte que no tots els aerogeneradors es troben en parcs eòlics, ja que també existeixen sistemes domèstics, que són instal·lacions d'ús particular l'objectiu de les quals és bombejar aigua o generar electricitat. Ara bé, aquest tipus d'instal·lacions solen subministrar una potència d'entre 0,3 i 100 kW.

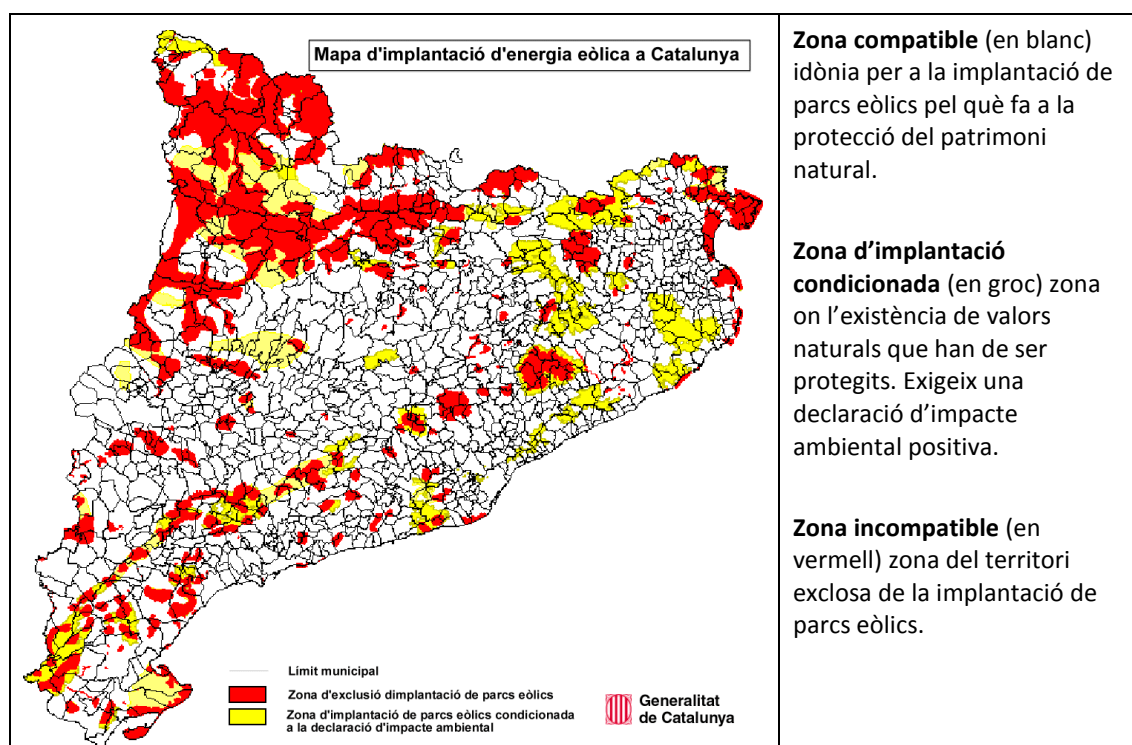
En canvi, els parcs eòlics estan constituïts per diversos aerogeneradors, interconnectats elèctricament amb línies pròpies i que comparteixen una mateixa estructura d'accessos i control. El parc eòlic més gran de Catalunya és el Parc Eòlic de les Colladetes, es troba situat al Perelló (Baix Ebre) i té una potència eòlica instal·lada de 24,75 MW. Un dels parcs eòlics més gran del món es troba situat a Dinamarca, es coneix com el Parc Eòlic de Middelgrunden i té una potència eòlica instal·ladada de 99 MW.



La instal·lació d'un parc eòlic és una qüestió complexa que cal abordar des de diferents vessants. A Catalunya, la seva implantació està regulada per la Direcció General d'Energia de la Generalitat de Catalunya (decret 174/2002). A grans trets, els elements més importants a tenir en compte són:

#### a) Els requisits ambientals que ha de complir l'emplaçament.

El Mapa d'implantació ambiental de l'energia eòlica a Catalunya és el document en el qual figuren les zones en què es divideix el territori als efectes de la implantació de parcs eòlics. Es contemplen tres zones en funció dels criteris d'integració paisatgística i d'impacte ambiental:



#### b) Els requisits de disseny que ha de complir el parc:

- Distantiat de nucli urbà per tal de complir la legislació sobre soroll.



- Suficient superfície per instal·lar el nombre d'aerogeneradors necessaris.
- Orientació adient respecte a la direcció predominant del vent.
- Accés fàcil a la zona on s'instal·laran els aerogeneradors.
- Factibilitat de construcció de línies elèctriques i línia d'evacuació.
- Les línies elèctriques interiors del parc eòlic seran soterrades.
- En relació amb la línia d'evacuació, s'escollirà el traçat i la configuració que tingui un menor impacte, garantint el compliment de la normativa vigent.
- En el supòsit de zones afectades per rutes migratòries o zones humides, la línia elèctrica d'interconnexió amb la xarxa de distribució o transport disposarà d'un disseny adequat que no afecti els ocells.
- L'edifici, o edificis, que siguin necessaris per al control del parc, així com la subestació transformadora, es dissenyaran de tal manera que quedin integrats en el paisatge, tot utilitzant una configuració i materials propis de la zona.

**c) Les condicions eòliques que ha de complir l'emplaçament:**

- Per iniciar la tramitació de l'autorització administrativa i de la llicència ambiental s'han d'acreditar mitjanes de vent iguals o superiors a 5m/s a 10 m d'altura o un mínim de 2.100 hores equivalents de vent a l'any respecte les 8.760 hores que conformen el total.
- La velocitat del vent a la zona ha de complir les següents característiques:
  - Continuitat: la variabilitat de la velocitat del vent implica una fluctuació en el seu contingut energètic.
  - Estabilitat al llarg d'una direcció i sentit: per tal de no haver de redirigir constantment les pales
  - Amb un valor mitjà de 6m/s o superior: per tal de què resulti rendible instal·lar aerogeneradors.
- Calen estudis previs del vent de la zona molt localitzats i de durada anual, ja que els vents de superfície estan directament influenciats per la rugositat del terreny i el perfil del terreny.

La instal·lació de parcs eòlics compta amb molts defensors i detractors, ja que permeten obtenir electricitat de forma completament neta i renovable, però alhora, impliquen una transformació molt gran de l'entorn on s'instal·len. Els principals avantatges i inconvenients del parc són:

Avantatges:	Inconvenients:
<ul style="list-style-type: none"><li>- És una font d'energia segura i renovable</li><li>- No produeix emissions a l'atmosfera ni genera residus, excepte els de la fabricació dels equips i l'oli dels engranatges</li><li>- Es tracta d'instal·lacions fàcils de desmantellar i recuperar ràpidament la zona</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Les variacions en la velocitat del vent i la incapacitat d'assegurar un subministrament regular o permanent.</li><li>- Impacte visual: la seva instal·lació genera una important modificació del paisatge.</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps ràpid de construcció</li> <li>- Benefici econòmic per els municipis afectats</li> <li>- Instal·lacions compatibles amb altres usos del sòl</li> </ul> <p>Estalvia l'emissió d'importantes quantitats de CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub> a l'atmosfera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacte sobre l'avifauna: cal estudiar els efectes sobre la modificació dels comportaments habituals de migració i nidificació.</li> <li>- Impacte sonor: la rotació de les pales amb l'aire produeix un soroll fluix però constant.</li> </ul>
---	--

#### ENLLAÇOS D'INTERÈS:

1. *Windpower* és una de les empreses Daneses dedicades a la instal·lació de Parcs Eòlics. En la seva pagina web hi ha un apartat pensat per a nens en la qual hi ha activitats i simulacions interactives que poden ser interessants i entretingudes. Algunes de les aplicacions no funcionen bé per a tots els ordinadors.

<http://windwithmiller.windpower.org/es/kids/index.htm>

2. En aquesta pàgina web catalana hi ha força informació sobre la situació de l'Energia Eòlica a Catalunya. Podreu trobar, entre altres coses, un llistat de quins són els parcs eòlics catalans i quines són les seves característiques (localització, potència elèctrica...).

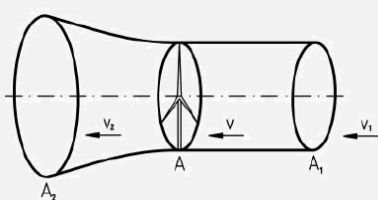
<http://www.eoliccat.net/>

## ACTIVITAT 1: DEMOSTRACIÓ DE LA LLEI DE BETZ.

**Objectius:** Conèixer la Llei de Betz, quantificar algunes de les magnituds que intervenen en la utilització del vent com a recurs mitjançant aerogeneradors, treballar l'anàlisi i optimització de funcions, interpretar el significat de la representació matemàtica de la Llei de Betz.

En qualsevol estudi sobre l'aprofitament de l'energia provinent del vent apareix la Llei de Betz. Aquesta llei diu que només es pot obtenir una fracció d'aquesta energia, i per afirmar-ho, es realitzen un seguit de càlculs que farem a continuació.

Aquests càlculs són una idealització de la realitat, i per tant, negligeixen aspectes com ara la variació de la densitat de l'aire ( $\rho$ ), les turbulències o la diferència d'altura (i d'energia potencial gravitatòria) que té l'aire que interacciona amb les pales de l'aerogenerador. Tot i així, definim:



Velocitat mitjana de l'aire que travessa l'àrea A delimitada per les pales:  $v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$

Massa d'aire que travessa A:  $\Delta m = \rho \cdot \Delta V = \rho \cdot A \cdot \Delta x$

Massa per unitat de temps:  $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot v$

1. La potència absorbida per l'aerogenerador es pot aproximar a la diferència entre l'energia cinètica inicial i final de l'aire, i per simplificar els càlculs, tenim en compte que la massa d'aire depèn de  $v_m$ .

A partir de les definicions anteriors, dedueix l'expressió de:  $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2)$

Suposem que es pogués utilitzar tota la potència del vent, això suposaria absorbir  $P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3$

2. Troba la funció que ens digui la proporció de potència utilitzada  $\frac{P}{P_0} \left( \frac{v_2}{v_1} \right)$ .

3. Deriva la funció i troba el valor òptim de  $\frac{v_2}{v_1}$  i de  $\frac{P}{P_0}$ .

4. Com interpretes el resultat? Busca alguna referència a la xarxa que parli de la Llei de Betz que utilitzi el valor òptim de  $P/P_0$  que hagi obtingut.

## ACTIVITAT 2: ESTUDI DE LA DIRECCIÓ DEL VENT.

**Objectius:** Familiaritzar-se amb el tractament i la interpretació de dades eòliques i la representació en forma de Rosa dels Vents.

El següent enllaç et permet accedir a un conjunt de dades de la intensitat i la direcció de la velocitat del vent a Barcelona entre els anys 1996 i 2005:

[http://moises.puertos.es/cgi-bin/Viento\\_Menu.cgi?EM&4750](http://moises.puertos.es/cgi-bin/Viento_Menu.cgi?EM&4750)

Si selecciones l'opció Rosa dels Vents podràs veure quina és la direcció en la que el vent és més intens i quina és la velocitat mitjana en aquesta direcció. Tot i que aquestes dades corresponen a la ciutat de Barcelona, un estudi sobre la direcció del vent és imprescindible en l'estudi de la viabilitat d'un aerogenerador.

Representa gràficament la direcció del vent al llarg dels 12 mesos de l'any 2000 i compara-ho amb la representació corresponents als valors mitjans anuals.

Què interpretes en aquesta taula? Quina conclusió n'extreus?

--

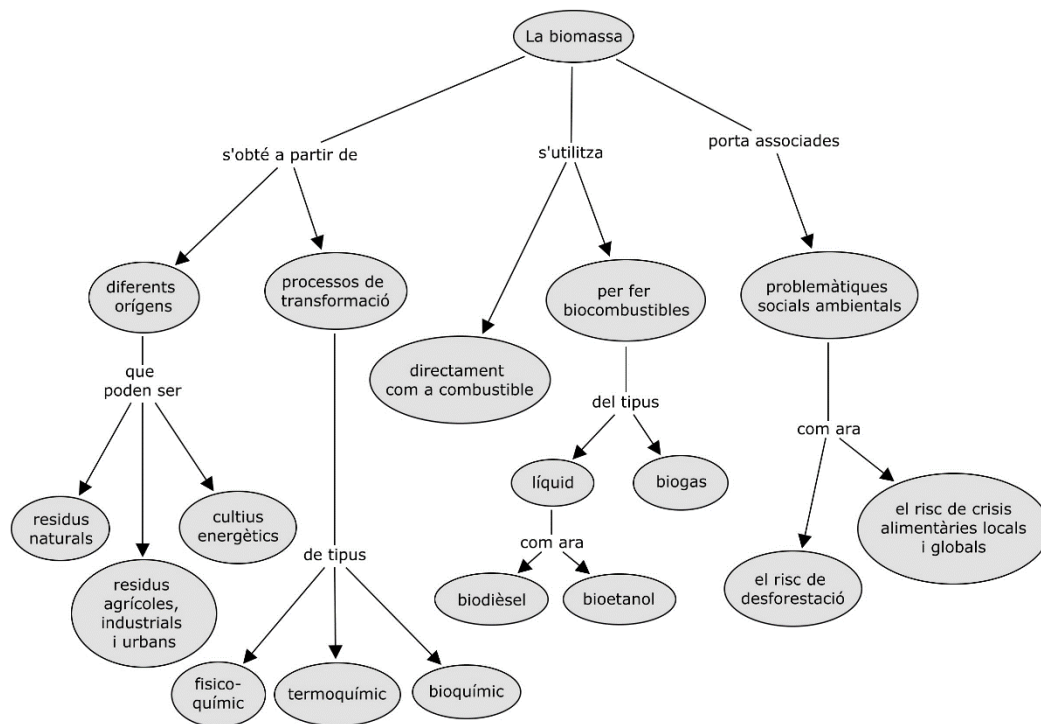
### ACTIVITAT 3: DISCUSSIÓ D'UN ARTICLE SOBRE LA MORT D'OCELLS.

**Objectius:** Llegir un article científic sobre la mort d'ocells en els parcs eòlics.

Llegeix l'article "*Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity*" que trobaràs al següent enllaç: <https://wild.nrel.gov/node/60>

Tot seguit, fes un petit resum amb les idees més rellevants de l'article i dona la teva opinió.

## SESSIÓ 7: ELS BIOCOMBUSTIBLES COM A ENERGIA RENOVABLE







## 1. QUÈ ÉS LA BIOMASSA, D'ON PROVÉ I PER A QUÈ S'UTILITZA?

### 1.1. QUÈ ÉS LA BIOMASSA?

La biomassa és un terme genèric que s'utilitza per referir-se a la matèria orgànica de la que es componen els éssers vius. Ara bé, quan parlem de la Biomassa com a font d'energia renovable ens referim al conjunt de matèria orgànica renovable d'origen viu que pot ser utilitzada com a combustible i per tant com a recurs energètic.

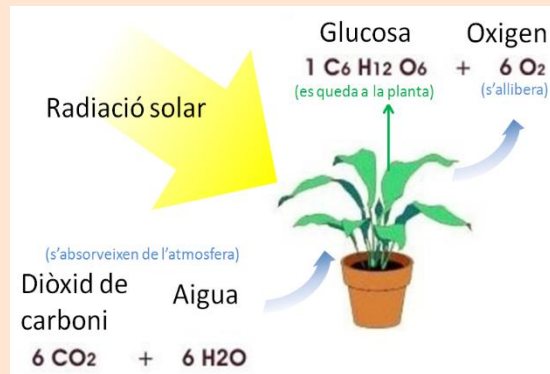
L'energia associada a la biomassa es pot entendre també com l'energia solar que s'ha emmagatzemat, a través de la fotosíntesis, en diferents compostos orgànics. Com ja hem vist en la majoria de les fonts energètiques que hem estudiat fins ara, la pràctica totalitat dels recursos energètics que s'aprofiten a la Terra tenen el seu origen en l'energia del Sol, ja sigui a través de la captació directa de la radiació solar o a través del vent, que també té un origen en les diferències de pressió i temperatures influenciades per la radiació solar. Així doncs, l'energia provenint de la Biomassa és també una altra manera d'obtenir energia del Sol de forma indirecta.

Els vegetals aprofiten una petita fracció de l'energia solar interceptada per la Terra per utilitzar-la en la síntesis de matèria orgànica (fotosíntesis) donant lloc a la Biomassa. Tot i que el rendiment d'aquesta reacció és molt baix (d'entre el 3 i el 5%), ho compensa el fet que l'energia del Sol és inesgotable.

#### Què és la fotosíntesi?

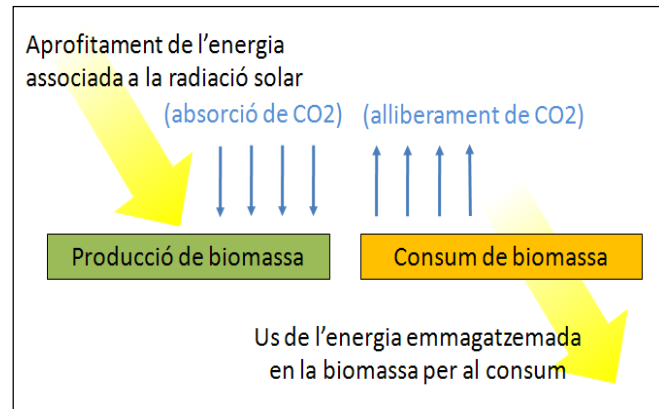
És el procés de síntesi de compostos orgànics a partir de compostos inorgànics que produeix els organismes vegetals. És una reacció bioquímica que es produeix gràcies a l'energia associada a la captació de radiació solar que fan les plantes, a través de la qual les plantes consumeixen  $\text{CO}_2$  i aigua, generant la matèria orgànica que necessiten per al seu creixement.

En aquesta reacció s'absorbeix diòxid de carboni i aigua, i es produeix glucosa i oxigen. Mentre que l'oxigen es desprèn en la reacció, la glucosa és el nutrient que utilitzen els vegetals per al seu creixement i desenvolupament.



Segons l'especificació tècnica europea CEN/TS 14588, es defineix la Biomassa com "Tot material d'origen biològic exclouent aquells que han estat englobats en formacions geològiques patint un procés de mineralització". Per tant, en el concepte de Biomassa energètica no s'inclouen els combustibles fòssils, tot i ser també el resultat d'una forma d'emmagatzematge de l'energia solar. La diferència entre la biomassa (energia renovable) i els combustibles fòssils (energia no renovable) és la capacitat de regeneració que tenen aquestes fonts d'energia. Mentre els combustibles fòssils necessiten milers i milions d'anys per a la seva formació, la biomassa es produeix en cicles molt més curts (mesos o pocs anys).

A més a més, una de les diferències fonamentals entre la Biomassa i els combustibles fòssils és que en la producció de biomassa s'absorbeix de l'atmosfera una quantitat equivalent de CO<sub>2</sub> (i d'altres gasos relacionats amb l'efecte hivernacle) a la que posteriorment s'alliberarà en la combustió d'aquesta biomassa. És a dir, que hi ha un balanç d'absorció i alliberament de gasos que es pot considerar zero al llarg del procés.

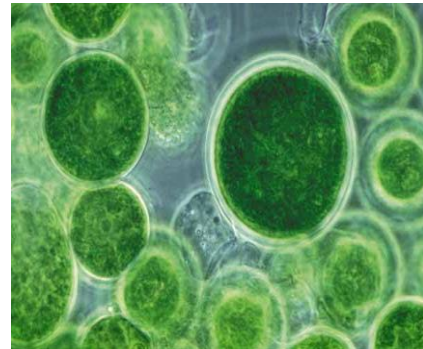


En resum, que per parlar de Biomassa com a font d'energia renovable cal basar-se en dos principis que són:

1. La matèria orgànica es pot considerar una font d'**energia emmagatzemada en la seva configuració bioquímica**. Aquesta energia prové de la radiació solar i s'allibera en el procés de combustió de la matèria orgànica.
2. El balanç d'absorció i emissió de CO<sub>2</sub> i altres gasos d'efecte hivernacle **es pot considerar nul** al llarg d'un procés de producció i consum de biomassa.

## 1.2. D'ON PROVÉ LA BIOMASSA?

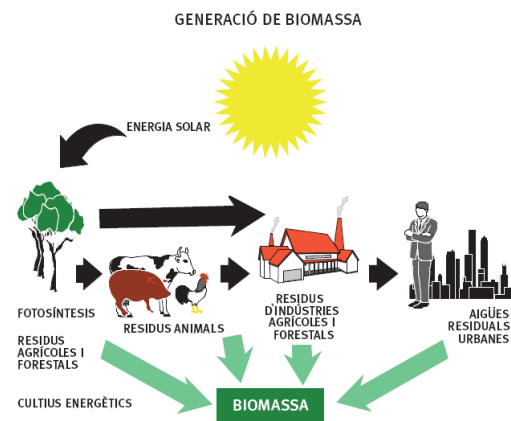
La **Biomassa natural** és la que produeixen els ecosistemes silvestres, tant terrestres com marins. En l'explotació d'aquest tipus de biomassa cal tenir en compte el temps que necessita l'ecosistema per a renovar-se, el que es coneix com a **taxa de renovació**. És a dir, que no es pot explotar els recursos energètics de l'ecosistema per sobre de la seva taxa de renovació ja que llavors es veuria afectat de manera irreversible. Aquest tipus d'explotació necessita d'una planificació sostenible per tal que s'incorporin a l'ecosistema nous individus que capturaran més CO<sub>2</sub> atmosfèric.



La **Biomassa residual** és la que s'extreu dels residus agraris, forestals i de les activitats humanes. Els residus generats en operacions de poda, neteja i tala de boscos i conreus (com ara arbres fruiters o vinyes) es poden usar donada les seves excel·lents característiques energètiques. Per a millorar les condicions econòmiques de la distribució, es sol estellar o empaquetar per obtenir un producte més manejable. Els residus de la indústria de la fusta (estelles, escorces, serradures) i de la indústria agroalimentària (ossos, closques, etc) també es poden usar com a biomassa per a obtenir energia. En aquest tipus de biomassa, existeix un factor clau que és l'estacionalitat, tant dels cultius (en el cas dels residus agrícoles) com de les variacions de l'activitat industrial que genera els residus industrials.



Els **cultius energètics** són aquells cultius agraris la finalitat dels quals és específicament la producció de biomassa per al seu aprofitament energètic. Les dues característiques fonamentals d'aquests cultius són que tenen una alta producció per unitat de superfície i any, i que el seu cultiu exigeix pocs requeriments. Entre les diferents espècies herbàcies susceptibles de ser cultius energètics destaquen: la colza etíop, el card i el sorgo. Entre les espècies forestals llenyoses hi ha el pollancre en zones de regadiu i, l'eucaliptus en zones de secà. Actualment, moltes de les investigacions estan encaminades a analitzar els cultius energètics marins, els anomenats combustibles de 2a i 3a generació.



### 1.3. LES FINALITATS DE LA BIOMASSA COM A FONT D'ENERGIA

Quan parlem de la Biomassa com a font d'energia ens referim a que utilitzem aquest conjunt de matèria orgànica de diferents maneres. En alguns casos, es pot usar **directament com a combustible** per mitjà de la combustió de la matèria orgànica. Cal tenir en compte que aquesta segueix essent la principal font d'energia de gran part de la població mundial que no té accés als combustibles fòssils. Durant tota la història de la humanitat, s'ha utilitzat la Biomassa dels arbres, la llenya, etc., per obtenir energia. En alguns casos, el ritme de consum de biomassa és molt major al ritme de reposició, i això porta associat problemes ambientals com la desertització, la desforestació i la pèrdua de biodiversitat.

En els darrers anys s'ha avançat molt en la **conversió de Biomassa en Biocombustibles** o Combustibles líquids, com ara els bioalcohols o els bioolis. Alguns d'aquests biocombustibles, com ara el bioetanol, que s'obté de cereals, i el biodièsel, obtingut de llavors oleaginoses, són combustibles que estan especialment pensats per substituir progressivament els combustibles fòssils convencionals i reduir d'aquesta manera la dependència que tenim actualment. Com que la producció industrial de biocombustibles es fa a partir de cultius energètics especialment preparats per aquest procés, hi ha una corrent política molt important que s'oposa al terme "biocombustibles" i proposa substituir-lo per "agrocombustibles". D'aquesta manera s'evitaria el donar connotacions massa positives associades al terme "bio-", i en canvi, al parlar de "agro-" s'estaria fent referència explícita al seu origen agrari.

Finalment, un altre ús de la biomassa que sovint es distingeix de les anteriors és la **producció de biogàs**. En alguns casos, les restes orgàniques, els residus de collites i altres materials que es descomponen dins d'un dipòsit anomenat digestor, on certs microorganismes produeixen la fermentació d'aquestes restes produint una barreja de gasos que es poden emmagatzemar, transportar i usar com a combustible.

Tot i que encara avui en moltes parts del món el consum de Biomassa segueix sent a través de la seva combustió directa, els processos industrials i a gran escala es realitzen a través de la transformació de Biomassa en biocombustibles o en biogàs. A continuació veurem, molt breument, els principals processos físics, químics i biològics que intervenen en aquest procés de transformació.

### 1.4. BREU RESUM DELS PRINCIPALS PROCESSOS IMPLICATS EN EL TRACTAMENT DE LA BIOMASSA

Les diferents finalitats de la biomassa comporten diferents tipus de processos de transformació i tractament. En alguns casos, tan sols es tracta de **processos físics** de preparació i condicionament de la matèria per al seu aprofitament posterior, com són la trituració, la mòlta i l'assecat de la matèria, els quals

faciliten l'emmagatzematge i el transport de la biomassa. En canvi, a l'hora de transformar aquesta Biomassa en biocombustibles, cal que es produeixin diferents **processos termoquímics**. Per exemple, en el cas dels bioolis és necessària una extracció química (compressió, extracció o piròlisi) i posteriorment, una transesterificació que substitueixi l'alcohol de l'oli vegetal (glicerol) per un altre alcohol més simple (metanol o etanol). En molts casos, també intervenen **processos bioquímics** en els que s'elimina la matèria orgànica mitjançant una descomposició bacteriana, com poden ser la digestió anaeròbia en la que la matèria orgànica es degrada convertint-se en biogàs o la fermentació alcohòlica en la que es produeixen alcohols.

En resum, cada tipus d'ús que se li vulgui donar a la biomassa comporta un tractament diferent, en el qual estan involucrats diferents processos físics, termoquímics i bioquímics.

## 2. TIPUS DE BIOCOMBUSTIBLES I CARACTERÍSTIQUES GENERALS

Com ja hem dit, els biocombustibles o agrocombustibles són alcohols, èters, esters i altres productes químics que provenen de compostos orgànics (biomassa) que s'extreuen ja sigui de plantes silvestres o de conreus especialitzats. La finalitat amb que s'han dissenyat aquests combustibles és la de substituir a curt, mitjà i llarg termini el petroli i altres combustibles fòssils com el carbó i el gas natural, actualment destinats a la producció d'electricitat i als que s'usen per als mitjans de transport. Com que aquesta és la seva funció, la producció i consum de biocombustibles es mesura en **ktep** (Kilotonelades equivalents de petroli), unitat en la que apareix normalment quan es parla de mesures de biocombustibles. Tot i que existeix una gran varietat i moltes gammes de biocombustibles, presentarem breument dos tipus de biocombustibles que s'utilitzen per al transport: el **biodièsel** i el **bioetanol**.

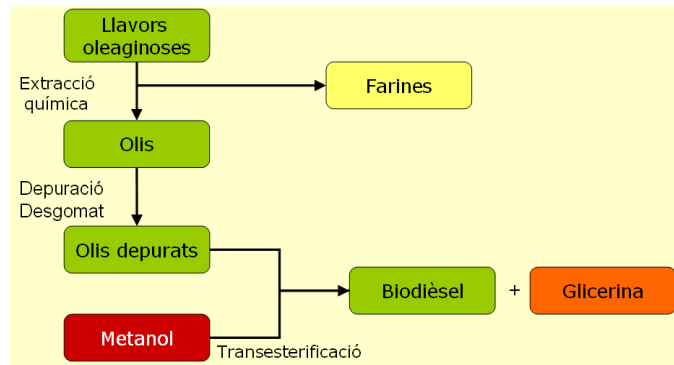


### 2.1. EL BIODIÈSEL

El biodièsel és un compost químic orgànic molt semblant al vinagre. Es pot obtenir a partir d'olis vegetals purs o bé, de la transformació de l'oli vegetal de cuina fregit. Els olis vegetals purs s'obtenen de llavors de plantes oleaginoses com ara la colza, el gira-sol o la soja. Si bé és cert que aquestes espècies són les més emprades per a la producció de biodièsel, cal esmentar que es pot obtenir de més de 300 espècies vegetals diferents.



Un cop s'ha extret l'oli vegetal cru d'aquestes plantes oleaginoses, es produeix una extracció química que té com a resultat l'obtenció d'oli vegetal refinat. Posteriorment, es produeix una transesterificació de l'oli depurat. Aquesta transesterificació és, fonamentalment, una substitució de l'alcohol de conté l'oli vegetal (el glicerol) per un altre més simple (el metanol o l'etanol). Per a que això succeeixi, cal hidrolitzar els enllaços ester dels triglicèrids, obtenint nous esters greixosos amb els àcids grassos alliberats en la hidròlisi i l'alcohol simple utilitzat com a reactiu. És a dir, que a partir d'una reacció química entre l'oli vegetal refinat i un alcohol simple, es produeix biodièsel i glicerina, tal com mostra la part dreta de l'esquema anterior. Aquest procés d'obtenció del biodièsel es realitza en presència d'un catalitzador, normalment sosa o potassa, i a una temperatura moderada d'uns 60°C. El seu procés de formació no requereix gaire energia i no genera subproductes nocius.



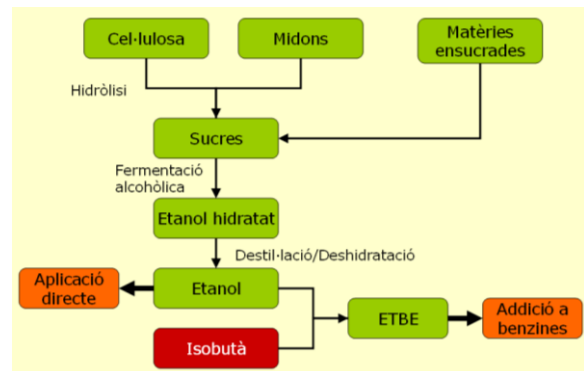
Per a que això succeeixi, cal hidrolitzar els enllaços ester dels triglicèrids, obtenint nous esters greixosos amb els àcids grassos alliberats en la hidròlisi i l'alcohol simple utilitzat com a reactiu. És a dir, que a partir d'una reacció química entre l'oli vegetal refinat i un alcohol simple, es produeix biodièsel i glicerina, tal com mostra la part dreta de l'esquema anterior. Aquest procés d'obtenció del biodièsel es realitza en presència d'un catalitzador, normalment sosa o potassa, i a una temperatura moderada d'uns 60°C. El seu procés de formació no requereix gaire energia i no genera subproductes nocius.

Alguns avantatges del biodièsel són que l'energia continguda en el combustible és major que la que s'inverteix en la seva producció, és segur per transportar-lo i emmagatzemar-lo, és biodegradable com el sucre i 10 vegades menys tòxic que la sal de cuina. A més a més, el seu ús comporta una reducció neta de les emissions de CO<sub>2</sub> en un 80% i les de SO<sub>2</sub> en un 100%. Finalment, el biodièsel té les mateixes propietats fisicoquímiques que el gasoil i per això el pot substituir en totes les seves aplicacions.

Actualment, el biodièsel s'utilitza en motors dièsel com a additiu en una barreja del 20% amb gasoil derivat del petroli (és a dir, els combustibles coneguts com els B20), però també s'utilitza cada vegada més en estat pur en motors dièsel (els combustibles coneguts com B100).

## 2.2. EL BIOETANOL

El bioetanol és l'etanol (un alcohol orgànic) que prové de vegetals rics en midó com els cereals (blat de moro, blat, civada...) i els tubercles (iuca, camote, patata, malanga...), rics en cel·lulosa com la fusta i els residus agrícoles o rics en sacarosa com la canya de sucre, la melassa o el sogro dolç. A través de processos d'hidròlisi es transforma la cel·lulosa i el midó en sucres, i tot seguit, aquest sucres es converteixen a través de la fermentació alcohòlica en etanol. Finalment, després d'un procés de destil·lació i deshidratació, s'obté la forma final del bioetanol.



De la mateixa manera que el biodièsel comparteix les propietats del dièsel convencional, l'etanol comparteix unes propietats fisicoquímiques molt semblants a la benzina, per això, pot ser un substitut total o parcial d'aquesta.

La manera més comuna i simple d'usar aquest biocombustible és barrejar-lo parcialment en la benzina dins un 10 o 15% (produint així els combustibles coneguts com E10 o E15). Tot i que, en aquestes

proporcions no és necessària cap mena de modificació del motor, es pot millorar la potència i disminuir el consum respecte a la benzina si es fan petites modificacions en la relació de compressió i la relació aire/combustible.

D'altra banda, també es pot utilitzar en forma d'èster ETBE (Etil Terciari Butil Èter) com a substitut del MTBE (Metil Terciari Butil Èter), additiu oxigenat d'origen fòssil que s'ha utilitzat durant molts anys en les benzines per a incrementar el nombre d'octà.

En resum, que tant el biodièsel com el bioetanol són compostos que provenen de matèria orgànica i que permeten progressivament substituir els dos combustibles més utilitzats per al transport: el dièsel convencional i la benzina.

### 3. PROBLEMÀTIQUES RESPECTE A L'ÚS DE BIOCOMBUSTIBLES

En els últims anys hi ha hagut moltes polítiques públiques promogudes tant des dels estats com des d'organismes internacionals per tal de promoure els biocombustibles com una alternativa al petroli, el gas i el carbó i reduir així, les emissions de diòxid de carboni. Tant els sectors públics com els privats de molts països del món han fet grans inversions per apostar pels biocombustibles.

Tot i així, cada vegada hi ha més indicis que aquesta alternativa podria no ser tan ideal com es plantejava inicialment. Els episodis de fam i revoltes que hi ha haver a Haití (estiu 2007) fruit de la pujada del preu dels aliments o les veus crítiques que s'han alçat arreu del món en defensa de la sobirania alimentària són fets que fan pensar que els anomenats biocombustibles o agrocombustibles poden ser més perjudicials que beneficiosos a nivell social i ambiental, i que, lluny d'acabar amb les emissions de diòxid de carboni, poden encara produir més perjudicis.

#### 3.1. LA RELACIÓ ENTRE ELS BIOCOMBUSTIBLES I LA CRISI ALIMENTÀRIA

Diferents informes internacionals indiquen que les inversions en aquestes matèries primeres poden produir pujades molt brusques del preu dels aliments. Durant els anys 2007 i 2008, previs a la depressió econòmica actual, hi va haver una important desviació de les inversions que fugien de l'especulació immobiliària i amb combustibles fòssils cap a l'especulació amb el preu dels aliments. Tot i que la crisi econòmica dels dos darrers anys ha frenat lleugerament les inversions i els beneficis, la producció de matèries primeres per produir biocarburants està encapçalada per grans multinacionals (Cargill, ADM o Bunge, entre d'altres) que controlen més del 80% de la producció mundial.



Per un costat, aquestes pujades del preu dels aliments podrien deixar els sectors més desfavorits de molts països productors sense l'accés bàsic a l'alimentació, generant així episodis de crisi alimentària. A més a més, una inversió poc regulada i especulativa amb el cereal, la soja, l'arròs o el sucre pot agreujar encara més la manca de sobirania alimentària de molts països productors, fent encara més dependent les economies més febles del planeta i obligant a molts països a cultivar per als països rics, sense poder abastir les seves pròpies necessitats alimentàries.

#### 3.2. LA RELACIÓ ENTRE ELS BIOCOMBUSTIBLES I LA DESFORESTACIÓ



Una altra de les problemàtiques que s'han plantejat en els darrers anys és el risc d'implantar massivament cultius per a biocarburants en aquells indrets on perilla la biodiversitat ecològica i les formes de vida de les comunitats rurals. La implantació massiva i descontrolada de monocultius seguint els interessos de multinacionals pot produir una acceleració en la desforestació irreversible de boscos tropicals per a la plantació d'aquestes matèries primeres (especialment a Amèrica Llatina i Àfrica).

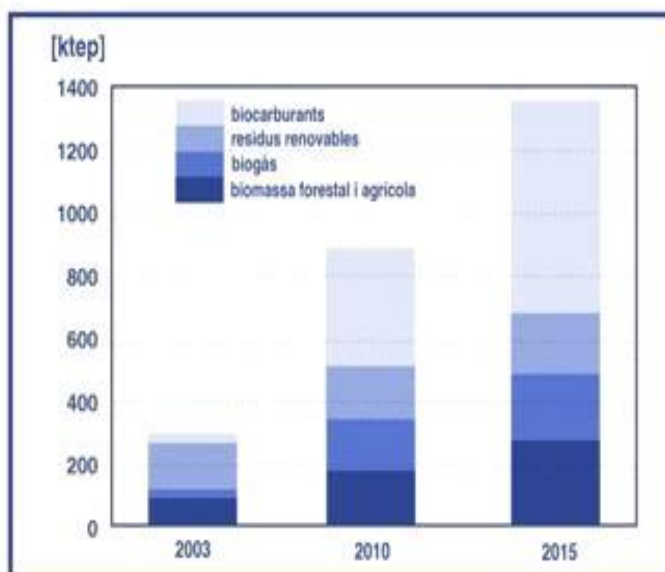


Finalment, aquestes plantacions obliguen als camperols a acceptar condicions molt desfavorables o bé emigrar cap a altres zones, augmentant així el risc d'exclusió social i trencant l'equilibri entre les formes agrícoles tradicionals i la biodiversitat (tant agrícola com forestal) de cada territori.

#### 4. PRODUCCIÓ I CONSUM DE BIOCOMBUSTIBLES A CATALUNYA

Arrel del Protocol de Kyoto, la majoria de països desenvolupats van acordar reduir les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera per tal de frenar els canvis climàtics produïts per l'efecte hivernacle. L'Estat Espanyol va ratificar la seva posició durant la Cimera de Johannesburg i va prometre mesures per activar la producció i utilització de Biocarburants, especialment, de Biodièsel.

Així doncs, des del gener del 2003, s'han anat impulsant un seguit de lleis que promouen projectes de fabricació, distribució i venda de d'aquest combustible a partir d'avantatges fiscals, i durant aquests anys cada vegada més benzineres ofereixen els diferents combustibles que hem vist anteriorment, com ara el B20, el B100, el E10 i el E15. En el pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 es preveu incrementar la participació de la biomassa en el balanç d'energia de Catalunya, arribant a l'any 2015 es de 1.527,1 ktep/any. Tot i així, la crisi econòmica viscuda durant els anys 2007-2011 ha frenat aquestes inversions.



També podem trobar a Catalunya diferents plantes de producció de Biocarburants, com ara les diferents refineries situades en l'àrea petroquímica de Tarragona o l'empresa Stocks del Vallès a Montmeló (que es pot veure des de l'autopista AP-7), encarregada de transformar olis vegetals usats en biocombustibles.

A més a més de la producció i consum de biodièsel i bioetanol, també hi ha a Catalunya una xarxa de tractament i consum de biomassa d'origen agrícola i forestal, amb centenars de petites centrals tèrmiques i diferents instal·lacions de gasificació.

#### ENLLAÇOS D'INTERÈS:

Institut per a la Diversificació i l'Estalvi de l'Energia, IDAE:

<http://www.idae.es>

Associació Catalana del Biodièsel:

<http://www.acbiodiesel.net>

Fundació Terra, ecologia pràctica:

<http://www.terra.org>



ACTIVITAT: REVISIÓ DE DIFERENTS NOTÍCIES I ARTICLES D'OPINIÓ SOBRE ELS BIOCOMBUSTIBLES.

**Objectius:** Conèixer diferents opinions entorn a l'ús de biocombustibles i les seves conseqüències. Formar-se una opinió crítica arrel del contrast d'informacions tant de mitjans de comunicació com d'altres estudiants.

A continuació hi ha un seguit d'enllaços a notícies, articles d'opinió o informes tècnics al voltant dels biocombustibles. Alguns dels articles en destaquen els aspectes positius, altres textos remarquen els aspectes perjudicials i algun text intenta donar ambdós tipus d'arguments. Tria un dels següents textos i desenvolupa la idea que es reflecteix a partir de les teves opinions. Posteriorment, es recolliran totes les opinions anònimament i es farà un petit dossier on es recullin totes les opinions i per tal que puguem elaborar, col·lectivament, una posada en comú d'aquells aspectes claus en que tothom pugui estar d'acord. La llargada del comentari pot ésser a gust de cadascú, tot i que si és excessivament curta (poques frases) la posada en comú pot quedar pobre; i si és excessivament llarga (més d'una pàgina) després ens serà molt difícil posar-ho en comú.

1. ¿Son ecológicos los biocombustible? *Revista Consumer* 9 d'agost de 2007.  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2007/09/08/166696.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2007/09/08/166696.php)
2. El biocombustible se quema. La crisis alimentaria siembra dudas sobre el papel del biocarburante en la seguridad energética y ambiental. *El País*, 11 de juny de 2008.  
[http://www.elpais.com/articulo/semana/biocombustible/quema/elpepueconeg/20080511elpn\\_eglse\\_2/Tes](http://www.elpais.com/articulo/semana/biocombustible/quema/elpepueconeg/20080511elpn_eglse_2/Tes)
3. Article d'opinió d'un blogaire. *Portal faircompanies.com*.  
<http://faircompanies.com/blogs/view/por-que-no-todosbiocombustibles-son-malos/>
4. Biocombustibles de segunda generación. *Revista Consumer* 26 de gener de 2008.  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2008/01/26/174085.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2008/01/26/174085.php)
5. Con los biocombustibles no se ahorran emisiones de CO2. Entrevista a Hartmut Michel, Premi Nòbel de Química. *El País*, 12 de setembre de 2007.  
[http://www.elpais.com/articulo/futuro/biocombustibles/ahorran/emisiones/CO2/elpepufut/20070912elpepifut\\_4/Tes](http://www.elpais.com/articulo/futuro/biocombustibles/ahorran/emisiones/CO2/elpepufut/20070912elpepifut_4/Tes)
6. Informe de Greenpeace entorn a la bioenergia. *Juny de 2008*.  
<http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/criterios-de-greenpeace-sobre.pdf>
7. Combustibles, un paso a favor del Medio Ambiente. *Portal de noticias Universia*, 20 de novembre de 2006.  
[http://www.universia.com.ar/portada/actualidad/noticia\\_actualidad.jsp?noticia=19627](http://www.universia.com.ar/portada/actualidad/noticia_actualidad.jsp?noticia=19627)
8. Article a la Vanguardia on el president del Brasil explica com el cultiu de biocombustibles pot ajudar econòmicament al seu país. *La Vanguardia*, 6 de juliol del 2007.  
[http://www.lavanguardia.es/premium/publica/publica?COMPID=51371936659&ID\\_PAGINA=22088&ID\\_FORMATO=9&turbourl=false](http://www.lavanguardia.es/premium/publica/publica?COMPID=51371936659&ID_PAGINA=22088&ID_FORMATO=9&turbourl=false)
9. Biocarburantes ¿solución o problema?. Article del professor del CSIC José Olivares Pascual. *El País*, 21 de maig de 2008.  
[http://www.elpais.com/articulo/futuro/Biocarburantes/solucion/problema/elpepifut/20080521elpepifut\\_5/Tes/](http://www.elpais.com/articulo/futuro/Biocarburantes/solucion/problema/elpepifut/20080521elpepifut_5/Tes/)



## SESSIÓ 8: L'HIDROGEN COM A RECURS ENERGÈTIC SECUNDARI



## 1. L'HIDROGEN: UN VECTOR ENERGÈTIC

De la mateixa manera que passa amb altres matèries com el petroli, el gas natural o la biomassa, les reaccions químiques en les que s'utilitza hidrogen també es desprèn energia, i per tant, es pot considerar com a font energètica. Ara bé, mentre el petroli, el gas natural o la biomassa són matèries que extraïem de la natura sense gaire despesa d'energia, per extreure l'hidrogen que hi ha a la natura sovint invertim la mateixa energia que després aprofitarem en la combustió de l'hidrogen.

Per aquest motiu, l'hidrogen no es considera estrictament una font d'energia, sinó un vector energètic, és a dir, una manera d'emmagatzemar i transportar energia sense gaires pèrdues. Per tant, per utilitzar l'hidrogen de manera 100% sostenible cal combinar-ho amb formes d'obtenció d'energia renovables. Si bé l'hidrogen s'ha d'extreure amb un cost energètic equivalent al de seu consum, aquest es pot transportar i consumir en un altre lloc. Per ser extret (produït) sense cap emissió de diòxid de carboni cal utilitzar els sistemes renovables que ja coneixem, com l'energia solar o l'eòlica. En aquest cas, podria esdevenir en part la solució d'un dels problemes més greus relacionats amb el consum d'energia: el seu transport i emmagatzematge.

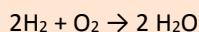
### Característiques físico-químiques generals de l'hidrogen

En condicions normals de pressió i temperatura, (0°C, 1 atm), la substància que anomenem hidrogen és un gas diatòmic (H<sub>2</sub>) incolor, inodor i no tòxic. La seva densitat és molt baixa, de 0,0899 g/l. Com a element, és el més lleuger i abundant de la natura, i representa aproximadament el 80% de la massa de tota la matèria de l'univers i és present en el 90% de les molècules. Per exemple, el Sol és gairebé 100% hidrogen pur i l'energia que ens arriba de l'astre, prové de la fusió dels àtoms d'hidrogen.

A temperatures molt baixes (-253°C) l'hidrogen és líquid, com és el cas de Júpiter, la superfície del qual és essencialment hidrogen líquid. Fins i tot a pressions molt altes l'hidrogen pot trobar-se com a metall sòlid,

L'hidrogen és una substància que anomenem altament energètica, ja té un alt poder calorífic. Això vol dir que la quantitat d'energia per unitat de massa que pot aportar l'H<sub>2</sub> és troba entre 33,33 kWh/kg i 39,41 kWh/kg, i varia lleugerament en funció de si aquest hidrogen es troba en estat líquid o gasós. Ara bé, també és altament inflamable, ja que si el percentatge d'H<sub>2</sub> en l'aire és troba entre el 4% i el 74%, sols és necessària una petita quantitat d'energia per iniciar la combustió. A més a més, l'hidrogen crema espontàniament si la temperatura és superior als 585°C, produint una flama d'un color blau pàl·lid quasi invisible i, per tant, difícil d'observar.

Cal tenir en compte que la combustió de l'H<sub>2</sub> no és equivalent a la combustió de matèries orgàniques com ho són els combustibles fòssils. En aquest cas, no produeix diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), sinó que el producte de la combustió de l'hidrogen és l'aigua:



Per comprendre el paper de l'hidrogen com a vector energètic cal contemplar les diferents fases que intervenen en el procés energètic, és a dir, la seva obtenció a partir de diferents reaccions químiques, el seu emmagatzematge i transport mitjançant diferents mecanismes i el seu consum per produir electricitat.

## 2. COM OBTENIM HIDROGEN COM A VECTOR ENERGÈTIC?

Tot i ser l'element més abundant de la Terra, l'hidrogen no es troba a la Terra en forma lliure (és a dir, com a gas H<sub>2</sub>) sinó que el trobem formant compostos amb d'altres elements, com pot ser en forma d'aigua (H<sub>2</sub>O) o en forma d'hidrocarburs i alcohols (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, per exemple).

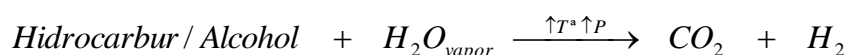
Per tant, aconseguir hidrogen pur no és una tasca fàcil. L'any 1783, el físic Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) va separar l'oxigen i l'hidrogen de l'aigua i, a continuació, els va combinar de nou produint 45g d'aigua. Va anomenar l'oxigen "l'aire que sustenta la vida" i l'hidrogen "l'aire inflamable" (que en grec significa "productor de l'aigua"). Al 1920 es van construir els primers electrolitzadors per obtenir oxigen i hidrogen de l'aigua i entre el 1930 i els anys quaranta es van fabricar camions, autobusos i submarins que empraven hidrogen i altres combustibles en motors de combustió interna. Als anys cinquanta, el científic anglès Francis T. Bacon va desenvolupar la primera cèl·lula d'hidrogen-aire, que va ser molt important en el programa espacial americà.

El 1962, l'electroquímic australià John Bockris va emfatitzar l'economia de l'hidrogen fet amb energia solar. Aquest científic va assessorar la General Motors i va augurar que "l'hidrogen seria el combustible de tots els mitjans de transport".

A més a més de l'electròlisi de l'aigua (mètode que veurem més endavant) existeix un altre mecanisme per obtenir hidrogen, que és la reformació d'hidrocarburs. Per tant, a continuació estudiarem aquests dos mètodes, la reformació d'hidrocarburs i l'electròlisi de l'aigua.

## 2.1. REFORMACIÓ D'HIDROCARBURS

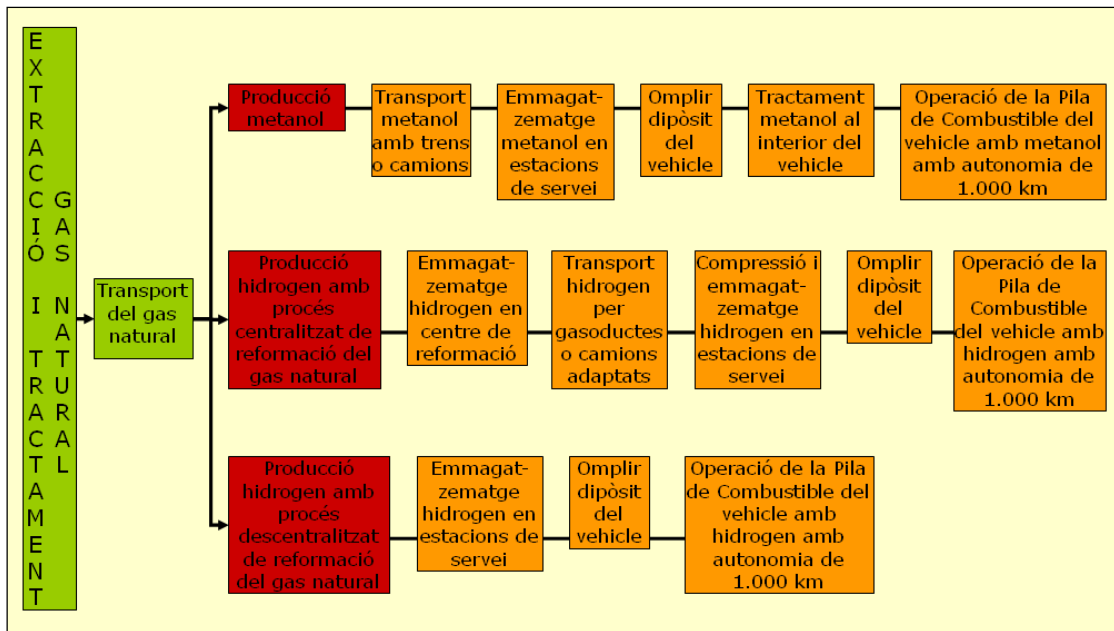
La reformació dels hidrocarburs per a obtenir hidrogen és actualment el procés més comú per a l'obtenció d'hidrogen. Es basa en la reacció d'hidrocarburs (o l'alcohols) amb vapor d'aigua, a altes temperatures i pressions, obtenint hidrogen i gasos de carboni que s'alliberen a l'atmosfera.



Font		Reacció química
Hidrocarburs	Gas natural: Metà Propà Butà	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ $\text{C}_3\text{H}_8 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CO}_2 + 10\text{H}_2$ $\text{C}_4\text{H}_{10} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CO}_2 + 13\text{H}_2$
	Gasolina: octà	$\text{C}_8\text{H}_{18} + 16\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\text{CO}_2 + 25\text{H}_2$
	Alcohols: metanol etanol	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 6\text{H}_2$
Carbó de coc i aigua		$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$

El problema d'aquest mecanisme és que, en el fons, no permet alliberar-nos de la dependència dels combustibles fòssils ja que en són la matèria primera de la reacció, i per tant, no soluciona el problema de fons. De totes maneres, cal tenir en compte que és un procés barat i competitiu mentre hi hagi una gran abundància d'hidrocarburs. Actualment es produeixen uns 40 milions de tones d'hidrogen per a fins comercials, i tot i semblar una producció molt elevada, si aquest hidrogen fos el que es produís amb finalitats energètiques, només aconseguiríem l'1% de la demanda energètica mundial.

El següent esquema resumeix el procés d'obtenció d'hidrogen a partir d'hidrocarburs:

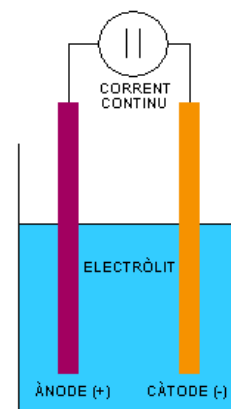
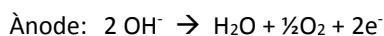
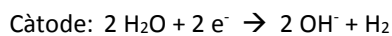


Com ja hem dit, aquest sistema d'obtenció d'hidrogen segueix sent un procés dependent dels combustibles fòssils. Per tant, no és una alternativa real als combustibles fòssils sinó una manera diferent d'utilitzar-los. A continuació coneixerem el mecanisme d'obtenció d'hidrogen a partir de l'aigua, una de les substàncies més abundants al planeta terra.

## 2.2. ELECTRÒLISI DE L'AIGUA

L'electròlisi de l'aigua consisteix en separar l'hidrogen de l'oxigen. Existeixen diferents mètodes per aconseguir aquesta separació. Es pot fer passar un corrent elèctric entre dos elèctrodes immersos en una dissolució (aigua amb un àcid o una sal), de manera que quan passa el corrent elèctric, les bombolles d'hidrogen generades es dirigeixen cap al càtode i les d'oxigen cap a l'ànode. Dins del recipient es col·loca un separador (diafragma) per mantenir els gasos separats. Aquest procés, en centrals grans, té una eficiència del 65-70%.

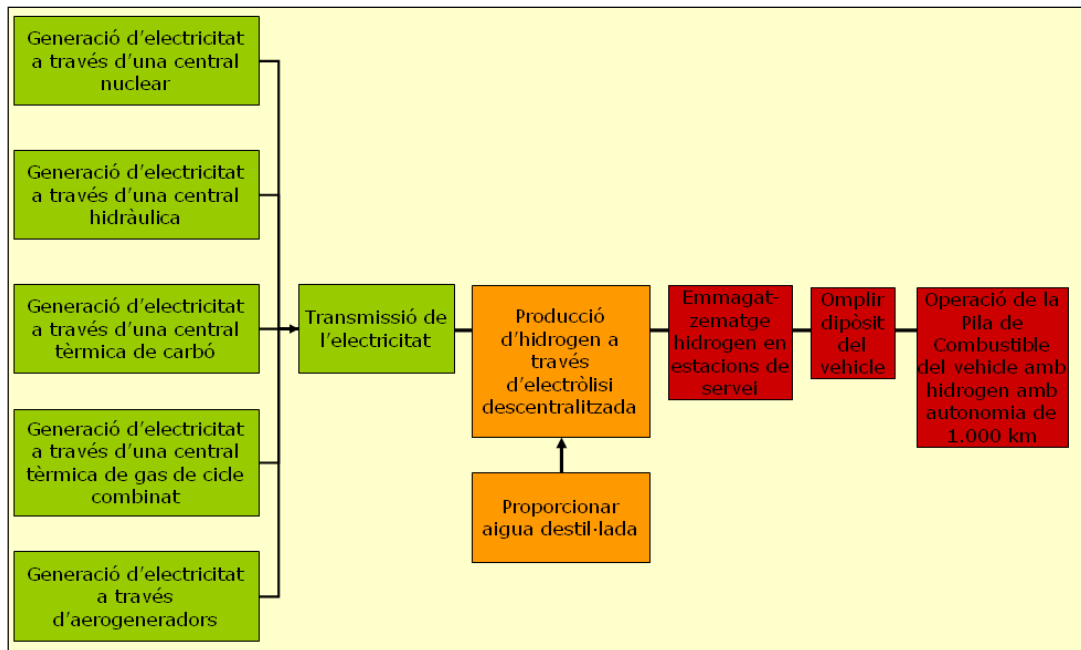
Les reaccions en els elèctrodes són:



Amb vapor d'aigua a uns 1.000°C de temperatura, també es pot electrolitzar l'aigua, i el procés aconseguix sense necessitat d'àcid o sal. En aquest cas, tant l'hidrogen com l'oxigen es dirigeixen cap al seu elèctrode i el consum d'electricitat es redueix en un 30-45% respecte a l'electròlisi alcalina convencional.

Finalment, aquest mateix procés es pot fer amb cèl·lules de membrana (PEM) o amb electròlit de polímer sòlid (SPE), que tenen una eficiència gairebé del 100%. En aquests sistemes en lloc d'utilitzar una dissolució, l'electròlit és una membrana de fulls sòlids d'un material semblant al tefló.

El següent esquema resumeix els diferents processos amb que es pot obtenir hidrogen actualment a partir de l'electròlisi:



En qualsevol d'aquests processos hi ha una elevada despesa d'electricitat, cosa que implica una gran despesa energètica que fa que no puguem parlar de l'hidrogen com una font energètica primària (capítol 1 del curs). En canvi, sí que podem considerar que l'electròlisi de l'aigua i les energies renovables (eòlica i fotovoltaica) formen un gran binomi: Es pot dissociar l'aigua amb un sistema que no contamina (utilitzant energies renovables) i obtenir hidrogen per transportar-lo i consumir-lo en un altre indret, cosa que en el futur pot ésser molt barat i rentable que l'actual transport d'electricitat.

### 3. COM ES POT EMMAGATZEMAR I TRANSPORTAR L'HIDROGEN?

Com ja hem dit, l'hidrogen conté una gran energia per unitat de massa, però com que té una densitat tan baixa a temperatura i pressió ambient, això fa que tingui una densitat energètica molt pobre (és a dir, que per emmagatzemar una quantitat d'hidrogen equivalent a una certa energia calgui un volum molt gran). Si comparem l'hidrogen amb la benzina, 1 kg d'hidrogen proporciona molta més energia que 1kg de benzina (118,8 MJ/kg vs. 44,0 MJ/kg). En canvi, com que l'hidrogen ocupa tant volum, mentre que 1litre d'hidrogen proporciona 8,3MJ d'energia, la benzina en proporciona 31,1MJ. Conclusió: l'hidrogen és més energètic però necessita molt més volum per a ser emmagatzemat.

És en aquesta baixa densitat on radica la major dificultat de l'emmagatzematge i la distribució de l'hidrogen. La solució passa per augmentar la densitat de manera que l'energia que proporioni per unitat de volum sigui major. Les possibles solucions a aquest problema passen per modificar la pressió i temperatura de manera que augmenti la densitat, o bé utilitzar diferents tipus de materials de suport per tal d'emmagatzemar l'hidrogen absorbit en el seu interior. A continuació veurem les solucions que s'utilitzen actualment per emmagatzemar l'hidrogen de forma eficient:

### 3.1. EMMAGATZEMATGE

Existeixent diferents mètodes com són l'emmagatzematge a pressió, el criogènic (en forma líquida), formant hidrurs metàl·lics o dins de nanofibres de carboni. L'elecció d'un sistema d'emmagatzematge d'hidrogen és sempre un compromís entre diferents criteris, com ara factors externs (*infraestructura de transport i distribució, la connexió entre la xarxa i l'usuari final, manipulació segura, etc.*), factors interns (*grandària, cinètica de la càrrega i descàrrega, eficiència, cicle de vida, seguretat en l'ús, etc.*) i altres factors econòmics.

#### a) Emmagatzematge a pressió

Parlem d'hidrogen comprimit o pressuritzat quan s'emmagatzema a pressions més grans de les condicions normals. Aquest procés consisteix en comprimir l'hidrogen en estat gasós a altes pressions i a temperatura ambient. Tenint en compte que els sistemes de producció generen hidrogen gasós i, que l'hidrogen s'usa en forma gasosa, sembla convenient emmagatzemar i transportar l'hidrogen en estat gasós. Ara bé, l'emmagatzematge de l'hidrogen gasós en recipients a pressió no és competitiu degut a la baixa densitat de l'hidrogen gasós i l'alt cost dels recipients a pressió. Aquest mètode d'emmagatzematge és voluminós i pesat, i implica un cost per unitat d'energia molt elevat.



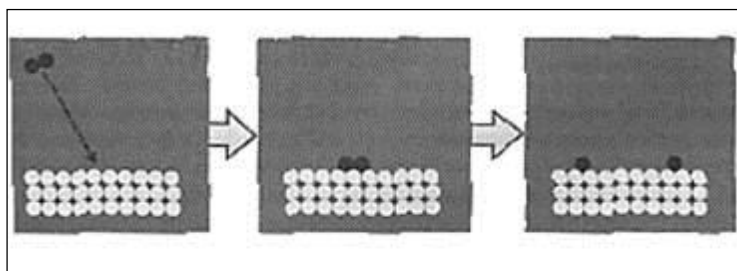
#### b) Emmagatzematge criogènic

L'hidrogen es pot emmagatzemar en forma líquida per a aplicacions a gran escala i per a aplicacions portàtils. L'hidrogen líquid és unes 800 vegades més dens que l'hidrogen gasós, el que implica que la forma líquida presenti una densitat energètica més elevada en proporció al volum. La líquefacció de l'hidrogen implica una fase de compressió, una de refredament i una expansió per poder modificar l'estat físic de l'hidrogen de gas a líquid. El sistema de líquefacció primer es comprimeix l'hidrogen gas i es refreda mitjançant nitrogen líquid. Finalment, s'aconsegueix refrigerar l'hidrogen fins a una temperatura de -253°C mitjançant una expansió Joule-Thomson. Quan l'hidrogen ha estat líquid, s'emmagatzema en recipients que el mantenen a una temperatura i pressió adequades (6-10bar i 15-20K), els anomenats dipòsits Dewar. El principal problema d'aquests dispositius és que presenten pèrdues per evaporació de l'ordre de 0,4% en els tancs aïllats al buit i, de l'1 al 2% en els tancs més grans.

Actualment, és un sistema que requereix una important aportació d'energia degut a la ineficiència de la refrigeració a temperatures extremadament baixes. Tot i això, per a la indústria aeroespacial és molt important ja que és un emmagatzematge de combustible lleuger i compacte.

#### c) Emmagatzematge formant hidrurs metàl·lics

L'hidrogen pot reaccionar amb diferents metalls o compostos intermetàl·lics formant els anomenats hidrurs metàl·lics. En aquesta forma química pot emmagatzemar més hidrogen per unitat de volum que l'hidrogen líquid. L'adsorció de l'hidrogen en la xarxa d'un metall o aliatge es pot realitzar a pressió atmosfèrica, el procés és exotèrmic i necessita refredament.



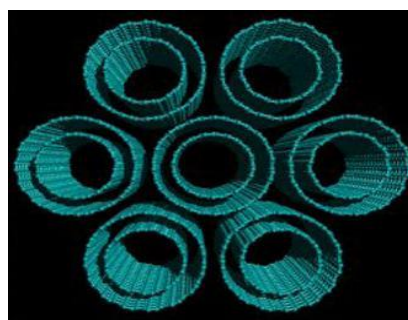
El procés d'adsorció és un fenomen superficial en el qual l'hidrogen s'adhereix a la superfície del medi sòlid. Quan aquest medi s'escalfa, els àtoms d'hidrogen emigren a la superfície de l'hidrur metàl·lic, combinant-se entre si formant molècules d'hidrogen. Finalment, escapen en forma d'hidrogen gas. El principal avantatge és la seguretat de treballar en rangs de pressió i temperatura moderats. Es pot dir que aquest sistema d'emmagatzematge és reversible, estable i segur. Per contra, són sistemes molt pesats, viables només per a aplicacions estacionàries o aplicacions nínxol. L'hidrogen absorbit és de l'ordre de l'1 o 2% del pes total del dipòsit d'emmagatzematge, poden arribar fins al 5 o 7% a temperatures superiors a 250°C.

Els treballs d'investigació es dirigeixen cap a l'obtenció d'una nova classe d'hidrurs metàl·lics alcalins que millori la cinètica de sortida de les molècules d'hidrogen. Cal destacar, que l'emmagatzematge d'hidrogen en forma d'hidrurs és molt útil en sistemes energètics aïllats, on l'energia elèctrica es genera amb el vent, el sol o petites centrals hidroelèctriques. Per exemple, les piles d'hidrurs són un sistema típic dels submarins.

#### d) Emmagatzematge dins de nanofibres de carboni

Actualment, una de les tecnologies d'emmagatzemament d'hidrogen més prometedores és la dels nanotubs de carboni. El sistema es basa en l'emmagatzematge de l'hidrogen en tubs microscòpics de carboni (nanotubs) de poc més d'un nanòmetre de diàmetre, és a dir, 0,000001 mil·límetres. Tot i que el mecanisme d'emmagatzematge i d'alliberació de l'hidrogen és semblant al dels hidrurs metàl·lics, aquests nanotubs poden contenir un major percentatge del seu pes en hidrogen. Es parla d'entre el 4,2% i el 65% del seu pes.

Els últims estudis, encaminen la investigació cap als nanotubs de dues capes ja que resulten més eficients. Les expectatives d'aquest sistema d'emmagatzematge són molt bones, tot i això, encara cal investigar molt per millorar la capacitat d'absorció-alliberació de l'hidrogen, la capacitat d'emmagatzematge, així com el procés de fabricació per tal d'aconseguir una viabilitat econòmica. Es pot pensar que aquest sistema pot arribar a ser la forma d'emmagatzematge d'hidrogen en el futur.



Una variació dels nanotubs és una nova tècnica d'emmagatzematge que proposen varis científics d'Alemanya i el Canadà. Enlloc de nanotubs de carboni, es planteja la possibilitat d'emmagatzemar hidrogen entre dues làmines de grafit, separades tant sols per varis nanòmetres. Aquest és un sistema barat, no tòxic i fàcil de preparar.

### 3.2. TRANSPORT DE L'HIDROGEN

L'estat físic en que es troba l'hidrogen és el que condiciona l'elecció d'un tipus de transport o un altre.



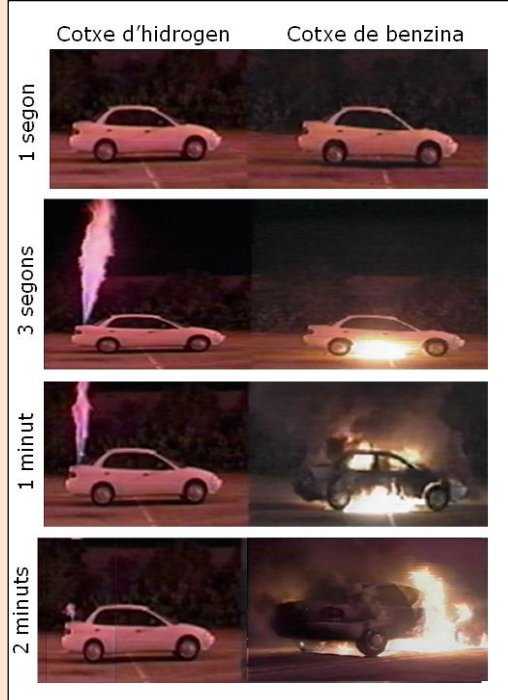


**Hidrogen en estat líquid:** És el sistema més emprat. El transport de l'hidrogen líquid es pot realitzar mitjançant camions cisterna, ferrocarril o transport marítim. En tots tres sistemes, s'utilitzen dipòsits amb una multicapa d'aïllament, tot i que les pèrdues ronden el 0,25% de la capacitat per dia, degut a l'evaporació. Les capacitats d'aquestes cisternes varia des dels 5.000 litres, en camions, fins als 80.000 litres del transport marítim. En el punt d'utilització, es troben els convertidors d'hidrogen líquid a hidrogen gas. La capacitat normal d'aquests convertidors és d'uns 3.000 m<sup>3</sup>/h.

**Hidrogen en estat gasós:** Tenint en compte la baixa densitat de l'hidrogen i el cost elevat dels recipients a pressió, es troba que el transport d'hidrogen gas mitjançant dipòsits no resulta competitiu. Mentre que amb un camió es poden transportar fins a 30.000kg de benzina, el màxim que es podria portar d'hidrogen serien 3.600kg. Per tant, el transport de l'hidrogen gas es realitza mitjançant gasoductes. El sistema de canonades seria semblant al del gas natural, tot i que, hi haurien algunes diferències (nivell de pressió, distàncies entre les estacions de compressió, diàmetre dels tubs...), atenent les característiques fisicoquímiques de l'hidrogen. Per exemple, atès que l'hidrogen té una densitat més baixa que el gas natural, es pot bombear el triple de flux que si fos gas natural.

#### La seguretat: desterrem els tòpics

L'accident del zèppelin Hinderburg l'any 1937 és la cita més famosa que contribueix al tòpic de la perillositat del hidrogen. Però, les investigacions actuals, han demostrat que el dirigible es va incendiar a causa d'una espurna d'electricitat estàtica degut a un disseny defectuós del dirigible.

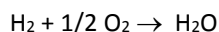


Actualment, tenim suficients coneixements d'aquest gas per assegurar una manipulació, un emmagatzematge i un transport segur. La gran capacitat d'inflamar-se i la facilitat per explotar que s'associen al hidrogen són la causa de la por que existeix en el mercat sobre la tecnologia del hidrogen.

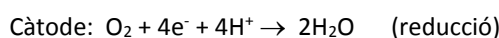
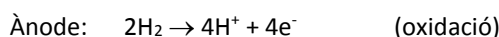
Una comparativa entre un vehicle d'hidrogen i un de benzina, ha demostrat la fiabilitat del hidrogen respecte a la seguretat. Les imatges de l'esquerra provenen d'un estudi realitzat pel Dr. Michael R. Swain de la University of Miami

#### 4. COM ES POT GENERAR ELECTRICITAT A PARTIR DE L'HIDROGEN?

Existeix un dispositiu anomenat Cèl·lula de Combustible es pot generar electricitat a través d'un procés redox, i per tant alliberar l'energia associada a la diferent configuració química d'abans i de després de la reacció. La reacció global que es duu a terme és la reacció inversa a la de producció d'hidrogen a partir de l'aigua (electròlisi):

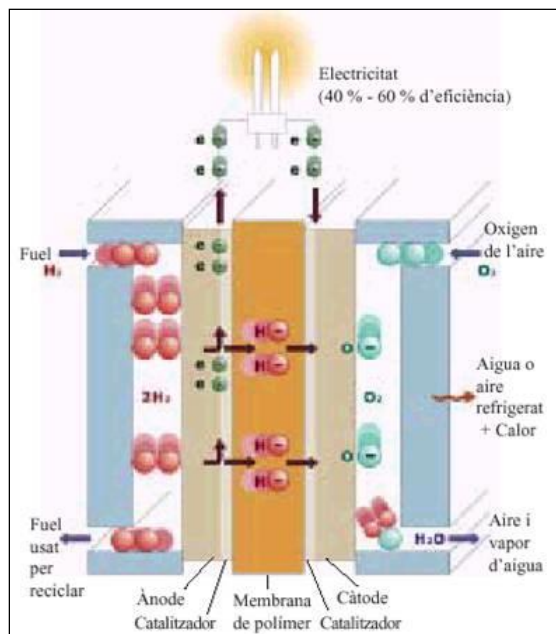


De la mateixa manera, les semireaccions que transcorren en cadascun dels elèctrodes (ànode i cànode) també són les inverses a les que es produeixen en l'electròlisi de l'aigua, que hem vist a la pàgina 4. Aquestes són:



Ara bé, cadascuna de les cèl·lules de combustible genera un voltatge molt baix, i és per això que es connecten moltes cèl·lules en sèrie per incrementar la quantitat de corrent. Aquest conjunt de cèl·lules de combustible s'anomena Pila de Combustible. Una sola Pila de combustible genera uns 0,8-1,5 V de corrent continu. Per tant, per aconseguir un voltatge determinat, cal unir en sèrie diferents piles de combustible.

El següent esquema resumeix les principals característiques d'una pila de combustible. En els dos extrems hi ha situats l'ànode i el cànode, separats per una capa del mig que fa la funció d'estructura de transport dels ions.



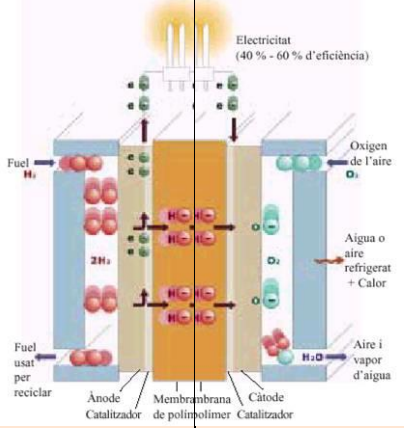
La part central d'una pila de combustible (l'electròlit) pot ser líquida o sòlida. Hi ha piles que aquesta part està constituïda d'àcid fosfòric (PAFC), de carbonat fos (MCFC), d'òxid sòlid (SOFC) i d'electròlit de polímer de membrana (PEM). Aquestes últimes són les que aporten avantatges més grans per a les aplicacions domèstiques i industrials, especialment en l'àrea del transport. A continuació s'exposen breument les diferents parts d'una pila PEM i les funcions que tenen cadascuna d'aquestes parts:



Les **plaques de difusió** de combustible són les plaques laterals encarregades de la distribució uniforme del gas al llarg de l'elèctrode. Estan formades per vàries escletxes o passadissos per guiar el combustible dins la pila de combustible i maximitzar-ne la difusió al llarg de l'elèctrode. Tenen una segona funcionalitat que és la de recollir el corrent d'electrons. Quan es realitzen associacions en sèrie de piles, per tal d'aconseguir el voltatge desitjat, les plaques de difusió solen ser bipolars, separen una cel·la de l'altra, a més de distribuir hidrogen per una banda, i aire per l'altra.

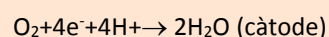
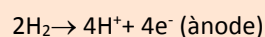
La **membrana central** és la que permet transferir els ions hidròni des d'un costat de la membrana cap a l'altra. En el cas de les PEM, el material més emprat per elaborar-les és el Nafion<sup>TM</sup>. Si poguéssim observar aquestes molècules de Nafion, veuríem un conjunt de cadenes d'àtoms allargades que tenen la propietat de ser hidrofòbiques i que tenen incloses molècules de sulfonats, que són altament hidròfiles. Aquestes regions hidratades permeten que els ions d'hidrogen dels grups de l'àcid sulfúric es moguin lliurement, atorgant a la membrana la propietat de poder transferir els ions hidròni des d'un costat de la membrana cap a l'altra. La membrana, a més, també actua com a separador dels gasos que entren en els respectius elèctrodes. El seu gruix sol ésser d'entre 50 i 175 µm.

Els **dos elèctrodes** es troben a banda i banda de la membrana. Cada elèctrode està fet de carboni porós on es lliguen els àtoms de platí. El platí actua com a catalitzador, per tal d'incrementar la velocitat de la reacció, ja que sense la presència de catalitzadors, les dues semireaccions d'oxidació i reducció, a baixa temperatura (80°C) ocorrerien lentament. Els elèctrodes porosos ofereixen més superfície perquè es produeixin les reaccions d'ionització. D'altra banda, els elèctrodes es construeixen amb l'àrea superficial tan gran com sigui possible.

Com és el procés de generació d'electricitat en el càtode i en ànode?		
<p>A l'ànode les molècules d'hidrogen entren amb contacte amb el catalitzador de platí i es dissocien. Tot seguit l'hidrogen allibera el seu únic electró que "viatjarà" pel circuit extern de la pila cap al càtode.</p> <p>Mentre, el protó s'uneix amb l'aigua per formar l'ió hidròni (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) que es desplaçarà a través de l'electròlit cap al càtode, deixant lliure el catalitzador.</p> <p>La reacció química que es duu a terme en l'ànode és:</p> $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$		<p>Al càtode les molècules d'oxigen entren en contacte amb el catalitzador de platí i es dissocien.</p> <p>Tot seguit l'oxigen s'allibera del platí per unir-se amb dos electrons (que han viatjat a través del circuit extern), i dos protons (que han viatjat a través de l'electròlit) per formar la molècula d'aigua.</p> <p>La reacció química que es duu a terme en el càtode:</p> $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

#### Com és el procés de generació d'electricitat entremig dels elèctrodes?

Assumint les dues reaccions que hem vist anteriorment:



A l'exterior de la pila, el cablejat extern permet el bescanvi d'electrons de l'ànode al càtode. El flux d'electrons té lloc perquè entre els elèctrodes de la pila s'estableix una diferència de potencial elèctric, ja que en l'ànode s'acumulen càrregues positives i en el càtode càrregues negatives.

Al interior de la PC, l'electròlit permet el desplaçament de protons  $H^+$  (en forma d'ions hidroni) de l'ànode al càtode, per la tendència a la conservació de la càrrega en un circuit tancat (tal i com suggereix el principi de conservació de l'energia).

La reacció redox total és doncs:  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 570 \text{ KJ/mol}$

És una reacció exotèrmica en la que es desprèn energia.

Tot i que les piles PEM són les que s'utilitzen per exemplificar el funcionament d'una pila de combustible, que són diferents en funció del seu electròlit. El següent quadre resumeix les més utilitzades, així com les seves avantatges i inconvenients:

Pila de Combustible	Electròlit	Temperatura d'operació	Eficiència elèctrica	Avantatges	Inconvenients
<b>Alkaline Fuel Cell AFC</b>	Solució d'hidròxid de potassi	90-100°C	60-70%	- La reacció en el càtode és més ràpida en un electròlit alcalí, per tant més productivitat.	- És necessari eliminar el $CO_2$ del combustible i de l'oxidant.
<b>Proton Exchange Membrane Fuel Cell PEMFC</b>	Polímer orgànic àcid poli-perfluorosulfònic.	60-100°C	40-60%	- L'electròlit sòlid redueix els problemes de corrosió i tractament. - Engegada ràpida.	- La baixa temperatura de treball requereix catalitzadors cars. - Alta sensibilitat a les impureses del combustible.
<b>Phosphoric Acid Fuel Cell PAFC</b>	Àcid fosfòric	175-200°C	55%	- Més d'un 85% de rendiment, en el procés de cogeneració d'electricitat i calor. - Admet $H_2$ impur com a combustible.	- Catalitzador de platí. - Poc corrent, poca potència. - Sistemes voluminosos i pesats
<b>Molten Carbonate Fuel Cell MCFC</b>	Barreja fosa de carbonats de metalls alcalins: liti, sodi i/o potassi	600-1000°C	65%	- Rendiment elevat. - Flexibilitat d'usar diversos tipus de combustibles, i catalitzadors més barats.	- L'alta temperatura augmenta la corrosió i les avaries dels components de les piles.
<b>Solid Oxide Fuel Cell SOFC</b>	Ceràmica d'ions òxid conductora	600-1000°C	60-65%	- Rendiment elevat. - Flexibilitat d'usar diversos tipus de combustibles, i catalitzadors més barats. - L'electròlit sòlid redueix els problemes de corrosió i tractament. - Engegada ràpida.	- L'alta temperatura augmenta les avaries dels components de les piles.

Per tant, en funció de l'aplicació que es desitgi, s'utilitzen unes Piles de Combustible o unes altres. Normalment, es tendeix a usar les PC que treballen a baixa temperatura PAFC i PEMFC per aplicacions mòbils, aplicacions portàtils i sistemes de baixa potència. Mentre que les PC que treballen a altes temperatures MCFC i les SOFC s'usen per aplicacions estacionàries amb una capacitat superior de generació elèctrica.

Actualment sols es comercialitzen les PAFC per a petites instal·lacions generadores d'electricitat, de l'ordre dels 200 kW. La durada de les piles de combustible, és a dir, el temps de vida mitjana, és difícil de determinar, ja que hi ha poques unitats en funcionament. La majoria són prototips i estan, per tant, en fase de millora contínua. Es consideren uns objectius realistes d'unes 5.000 hores per a baixa temperatura



(PEMFC), i d'unes 40.000 hores per a les d'alta temperatura (MCFC i SOFC). Amb tot, els prototips en funcionament estan més a prop de l'objectiu en el cas d'alta temperatura que en el de baixa temperatura (on s'estan aconseguint només entre 1.000 i 2.000 hores).

#### ENLLAÇOS D'INTERÈS

- Associació catalana de l'hidrogen:

<http://www.ach2.net>

## ACTIVITAT 1: COMAREM L'H<sub>2</sub> I EL GAS NATURAL.

**Objectius:** En aquesta activitat anem a comparar l'energia que aporta l'H<sub>2</sub> en relació amb la mateixa quantitat de combustibles fòssils convencionals. En concret compararem l'aportació energètica de l'H<sub>2</sub> amb la del gas natural, tenint en compte les diferents propietats de cadascun dels combustibles. Tot i que es tracta d'un exercici senzill des del punt de vista de càlcul, pot servir per estimar quines avantatges i quins inconvenients suposa l'ús d'hidrogen com a combustible respecte el gas natural.

El **poder calorífic** d'una substància és la quantitat d'energia per unitat de massa o de volum que es desprèn en forma de calor en una reacció de combustió (les reaccions de combustió són aquelles en que els compostos reaccionen amb l'oxigen alliberant, en la majoria dels casos, energia en forma de calor). El valor del poder calorífic, a més a més de ser diferent per cada substància que intervé en la combustió, també depèn de les condicions de pressió i temperatura en que es produeix la reacció i, per tant, de l'estat d'agregació en que es troben els combustibles.

Per un costat, el gas natural és un combustible fòssil que està format per varis gasos: metà,età, propà, butà i altres (essent el metà el quin es troba amb més proporció, sempre superior al 70%). Amb tot, la composició del gas natural varia segons la seva procedència. Per tant també varia, segons la procedència, la densitat del gas natural i el seu poder calorífic. En qualsevol cas, aquest poder calorífic es mou entre els 13,90 kWh/kg i els 15,42 kWh/kg.

En el cas de l'hidrogen, el poder calorífic també pren diferents valors. Com podeu llegir en la presentació PPT de la sessió 8, el poder calorífic inferior de l'hidrogen és aquell pel qual la totalitat de l'aigua produïda per la combustió de l'H<sub>2</sub> està en estat vapor. El poder calorífic superior és aquell valor pel qual la totalitat de l'aigua produïda per la combustió de l'H<sub>2</sub> està en estat líquid. El calor de combustió de l'H<sub>2</sub> es sol calcular a partir del valor de l'entalpia de formació de l'H<sub>2</sub>O i dividint per la massa d'H<sub>2</sub> que intervé en la combustió. L'H<sub>2</sub> aporta entre 33,33 kWh/Kg i 39,41 kWh/Kg en unitats d'energia per massa. L'energia que aporta l'H<sub>2</sub> es pot proporcionar també en unitats d'energia per volum (KWh/m<sup>3</sup>).

Sabent que la densitat promig de l'hidrogen gas en condicions normals (pressió atmosfèrica i 0°C de temperatura) és de 0,08988 g/l i la del gas natural és de 0,7422 g/l, completa la següent taula.

	Hidrogen gas	Gas natural
Energia per unitat de massa (kWh/Kg)		
Energia per unitat de volum (kWh/m <sup>3</sup> )		

Compara la quantitat d'energia que aporta 1 kg d'H<sub>2</sub> i 1 m<sup>3</sup> d'H<sub>2</sub> respecte a les mateixes quantitats de gas natural. Quines conclusions en podem extreure d'aquests càlculs pel que fa a l'emmagatzematge i transport de l'hidrogen?

Quines altres diferències fonamentals entre l'hidrogen i altres combustibles extreus de la lectura del material de la sessió 8?



## ACTIVITAT 2: GENERACIÓ D'ELECTRICITAT EN UNA PILA DE COMBUSTIBLE PEM

**Objectius:** Treballar les reaccions d'oxidació i reducció (Redox) distingint allò que succeeix en un procés d'electròlisi i el que passa a l'interior d'una Pila de Combustible PEM en un procés d'obtenció d'electricitat.

En la primera part de la sessió hem vist que hi ha principalment dos mètodes emprats de produir hidrogen, que són la reformulació d'hidrocarburs i l'electròlisi de l'aigua. En canvi, més endavant se'ns presenten les Piles de Combustible com un sistema per obtenir electricitat a partir del hidrogen. Què podem dir d'aquest dos processos (obtenció d'hidrogen i consum d'hidrogen)? Què tenen en comú i què tenen de diferent? Quin és l'objectiu de cadascun d'ells?

Per aclarir-te, et pot ajudar el fet d'omplir la següent taula amb les reaccions que transcorren en cada elèctrode i per a cada procés. Trobaràs les equacions de cadascuna de les reaccions en aquesta sessió.

	Elèctrodes			
	<b>Ànode:</b> S'hi realitza la semireacció d'oxidació, pèrdua d'electrons per part d'una espècie química.		<b>Càtode:</b> S'hi realitza la semireacció de reducció, guany d'electrons per part d'una espècie química.	
<b>ELECTRÒLISI</b>		Connectat al born + de la font d'alimentació		Connectat al born - de la font d'alimentació
<b>PILA DE COMBUSTIBLE</b>		Born – de la pila		Born + de la pila

Si observes la taula de potencials de reducció proporcionada en la següent pàgina, pots veure el potencial (o voltatge) associat a cada reacció. Sabent que la diferència de potencial en una pila es calcula com:

$$E^0_{\text{pila}} = E^0_{\text{càtode}} - E^0_{\text{ànode}}$$

Calcula el valor del potencial que dona una Pila de Combustible d'aquestes característiques. Compara aquest valor amb el potencial d'electròlisi de l'aigua que pots trobar a Internet o a qualsevol llibre de Química. Quines conclusions n'extreus?

El valor obtingut del voltatge és el mateix per qualsevol pila en la que es produeixi la mateixa reacció o depèn de la mida de la pila i de la quantitat de reactius que intervenen? Com ho expliques?

Pots trobar el llistat de potencials estàndards de reducció aquí:

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec\\_5.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_5.htm)







## SESSIÓ 9: ANÀLISIS DEL CICLE DE VIDA L'ACV I LES ENERGIES RENOVABLES

## 1. QUÈ ÉS EL CICLE DE VIDA D'UN PRODUCTE I EL ACV?

Quan parlem del cicle de vida d'un producte o servei ens referim al procés de consideració de **tots els recursos utilitzats i de totes les implicacions ambientals associades a la vida d'un producte o servei**.

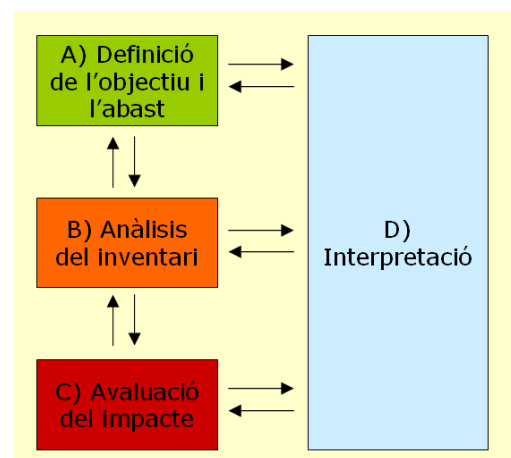
És a dir, qualsevol producte o servei causa uns certs impactes en el medi ambient en totes les fases del seu cicle de vida: des de l'**adquisició** de les matèries primes necessàries per a la seva fabricació, passant per la seva **producció i distribució**, el seu ús i, finalment, la seva **disposició** com a residu.



Font de la imatge: Tetrapack.

L'**anàlisi del cicle de vida** és un instrument que permet analitzar els aspectes ambientals d'un producte o servei al llarg de tot el seu cicle de vida. Per tant, l'ACV és una metodologia que permet avaluar els impactes potencials d'un producte, servei, procés o activitat al llarg de tot el seu cicle de vida, des "*del bressol fins a la tomba*". Els principis i el marc de referència de l'ACV es troben descrits en les normes UNE-EN ISO 14040:2006 i 14044:2006.

Els estudis d'ACV utilitzen una metodologia molt concreta, que té 4 fases: la definició d'objectius i abast de l'estudi, la realització d'un inventari dels consums (de matèria i energia) i les emissions de cadascuna de les etapes del cicle de vida, l'avaluació dels impactes que aquests consums i emissions poden provocar sobre el medi ambient i finalment una interpretació dels resultats obtinguts. És una tècnica complexa i iterativa que utilitza en les seves fases els resultats de les altres fases, tal i com mostra la figura de la dreta.



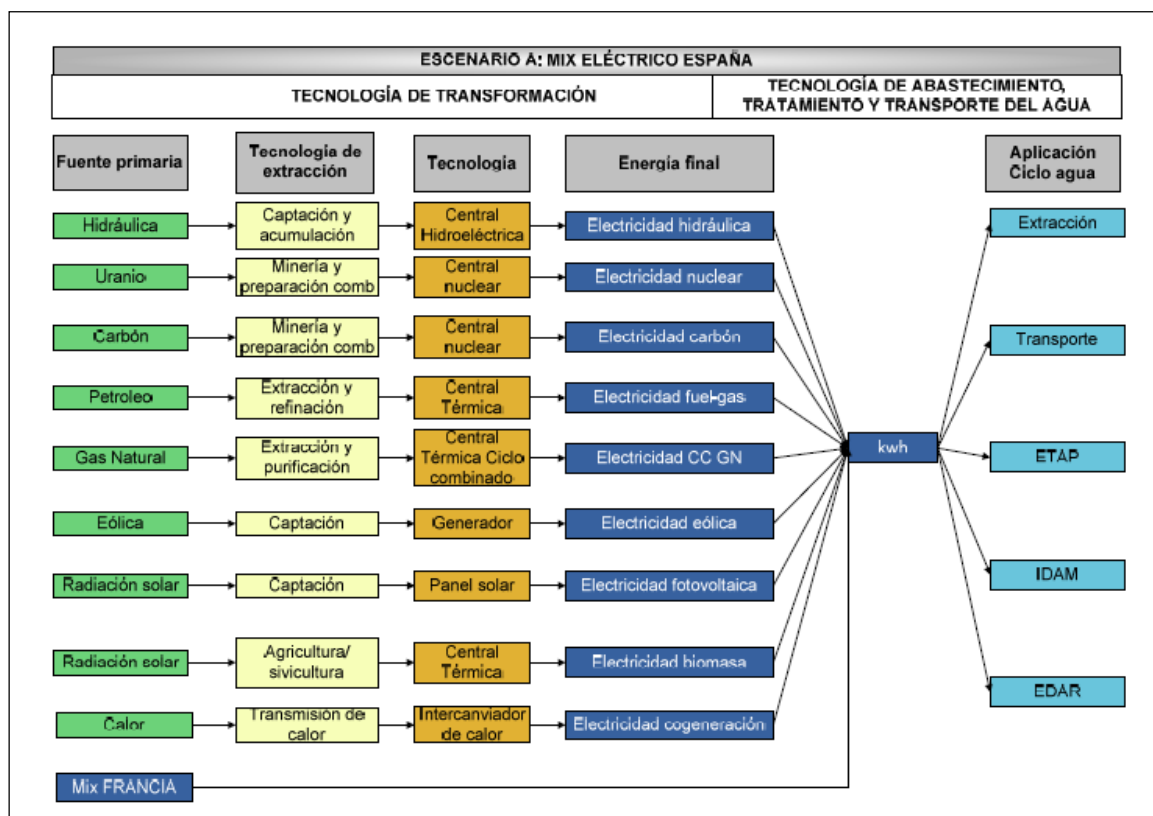
## A) Definició de l'objectiu i l'abast

Els estudis d'ACV es realitzen per a dos tipus d'objectius diferents. Es poden realitzar aquests estudis per a comparar ambientalment dos productes o serveis diferents. Per exemple, avaluar ambientalment què és millor per a un determinat producte: un embalatge de cartró o bé un embalatge de plàstic reciclat?

Altres estudis tenen com a objectiu determinar quina de les fases del cicle de vida d'un producte o servei influeix més significativament en els impactes ambientals i, d'aquesta manera, proposar millores ambientals. Per exemple, avaluar el cicle de vida d'una nevera a fi de veure quines etapes contribueixen més en els impactes ambientals, per treure'n els criteris que hauran de complir aquest tipus de productes per aconseguir l'ecoetiqueta.

L'abast de l'ACV dependrà del tema i l'objectiu de l'estudi, però inclourà els límits del sistema, el nivell de detall, la qualitat de les dades, les suposicions realitzades, les limitacions de l'estudi, etc. L'estudi de l'ACV està referit a una **unitat funcional**, que és el que defineix el que s'està avaluant. Per exemple, si es comparen diferents tipus de subministrament elèctric (xarxa normal, sistema fotovoltaic...) una possible unitat funcional seria la producció d'1kWh d'electricitat a partir de cada tipus d'instal·lació. Com que quan es comparen diferents productes o serveis, **només es poden comparar aquells que compleixen una mateixa funció, es necessari escollir una unitat funcional referida a la funció que desenvolupen els productes o serveis avaluats.**

## B) Anàlisi del inventari del cicle de vida (ICV)



En aquesta fase el que es fa és una recopilació de les dades per a poder quantificar les entrades i sortides del sistema estudiat (tant de matèries com d'energia). S'hauria d'arribar a fluxos elementals, és a dir, a fluxos materials i energètics que provenguin o que vagin directament a la natura (sense cap transformació). Per exemple, si en un cas particular d'un procés que s'estigui estudiant surten unes aigües residuals que es depuraran, cal que l'ICV contempli els consums i les emissions d'aquest tractament.



Aquesta fase és llarga i cal realitzar-la amb cura per a evitar possibles errors que podrien afectar als resultats finals. Per realitzar l'ICV s'agafen dades genèriques (d'una base de dades) i dades de camp (les ha d'obtenir i/o calcular el propi analista). Quan un sistema condueix a diversos productes o realitzi diverses funcions, i no tots ells entren dins els límits de l'estudi, s'han de repartir les càrregues ambientals entre els diferents productes que s'obtenen.

### C) Avaluació del impacte del cicle de vida (AICV)

Els resultats de l'inventari no es poden interpretar. Cal tenir en compte que és molt difícil saber quines etapes del cicle de vida d'un producte tenen més impacte ambiental a partir d'una llista de centenars de substàncies que representen entrades i sortides del sistema (inventari). Per això, s'estudia la contribució del conjunt d'aquestes substàncies a una sèrie d'impactes ambientals.

És a dir, que en aquesta tercera fase, el que es realitza és una associació de les dades del inventari amb diferents categories d'impactes i amb indicadors de categoria d'impacte. L'avaluació inclou els següents elements:

- **Selecció** de les categories d'impacte, indicador i models de caracterització.
- **Classificació:** Les diferents intervencions ambientals s'agrupen en les categories d'impacte ambiental a què afecten.
- **Caracterització:** s'avalua numèricament l'efecte total del sistema del producte sobre cadascuna de les categories d'impacte ambiental.

### D) Interpretació del cicle de vida

En la fase final de l'ACV, es resumeixen i discuteixen els resultats del inventari i de l'avaluació com a base per a les conclusions i recomanacions de l'estudi. L'estudi d'ACV comporta la realització d'un informe en el que es documenten totes les fases de l'ACV, els resultats i conclusions, així com la qualitat de les dades, les limitacions de l'estudi, les suposicions establertes, etc. Depenen de l'objectiu i abast de l'estudi, es pot portar a terme un cop finalitzat l'estudi, una revisió crítica per part d'experts externs a l'ACV.

## 2. EXEMPLE DE ACV RELACIONAT AMB EL CONSUM ENERGÈTIC

Suposem que ens interessés estudiar l'ACV del consum energètic destinat a l'escalfament d'una vivenda. Per fer-ho, utilitzarem un estudi ACV realitzat pel grup de recerca AGA (<http://www.etseq.urv.es/aga/>) sobre una vivenda de 9.300 kWh/any ubicada a Zaragoza.

### a) Definició i objectiu d'abast

En aquest cas, utilitzar un ACV és molt útil per comparar diferents fonts d'energia utilitzades per a l'escalfament de la casa. En un estudi com aquest, complex i extens, s'ha de comparar subministraments energètics, equips i instal·lacions. En aquest cas es comparen alguns dels subministraments energètics que hem tractat durant el curs, que són:

- Electricitat de la xarxa espanyola
- Solar tèrmica de baixa temperatura
- Electricitat d'origen fotovoltaic
- Producció de calor a partir de biomassa

A més a més, cal determinar una unitat funcional. En aquest cas, una possible unitat funcional seria la producció d'1kWh d'electricitat a partir de cada tipus d'instal·lació. Per tal de fer l'inventari complet, alguns dels indicadors més comuns que es podrien utilitzar són:

- Acidificació (en kg SO<sub>2</sub> eq.)
- Canvi climàtic (en kg CO<sub>2</sub> eq.)
- Eutrofització (en kg PO<sub>4</sub>-3 eq.)
- Toxicitat humana (en kg Pb eq.)
- Radiació ionitzant (en DALY)
- Formació d'oxidants fotoquímics (en kg etilè eq.)
- Esgotament de recursos abiòtics (en kg petroli eq.)
- Destrucció de la capa d'ozó (en kg CFC-11 eq.)
- Consum d'aigua dolça (en kg aigua eq.)

#### b) ICV i AICV

Els valors dels diferents indicadors per a la producció d'1 kWh per a ser utilitzat per a l'escalfament d'una llar a través de diferents sistemes es mostren en la taula de resultats final. Tal com es pot observar, les diferents columnes corresponen a diferents mètodes, mentre que les files representen els diferents indicadors:

Indicadors	Unitats	Subministrament energètics			
		Electricitat	Solar tèrmica	Fotovoltaica	Biomassa
Acidificació	kg SO <sub>2</sub> eq.	7,26 x 10 <sup>-3</sup>	2,13 x 10 <sup>-5</sup>	3,95 x 10 <sup>-4</sup>	4,97 x 10 <sup>-4</sup>
Canvi climàtic	kg CO <sub>2</sub> eq.	0,643	2,54 x 10 <sup>-3</sup>	8,12 x 10 <sup>-2</sup>	5,60 x 10 <sup>-2</sup>
Eutrofització	kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq.	2,57 x 10 <sup>-4</sup>	2,13 x 10 <sup>-6</sup>	1,84 x 10 <sup>-4</sup>	8,00 x 10 <sup>-5</sup>
Toxicitat humana	kg Pb eq.	4,97 x 10 <sup>-4</sup>	3,55 x 10 <sup>-6</sup>	2,55 x 10 <sup>-4</sup>	1,03 x 10 <sup>-4</sup>
Radiació ionitzant	DALY	7,82 x 10 <sup>-9</sup>	1,69 x 10 <sup>-11</sup>	4,45 x 10 <sup>-10</sup>	7,55 x 10 <sup>-10</sup>
Formació d'oxidants fotoquímics	kg etilè eq.	2,80 x 10 <sup>-4</sup>	1,44 x 10 <sup>-6</sup>	2,14 x 10 <sup>-5</sup>	2,32 x 10 <sup>-5</sup>
Esgotament de recursos abiòtics	kg petroli eq.	0,220	8,54 x 10 <sup>-4</sup>	2,94 x 10 <sup>-5</sup>	1,82 x 10 <sup>-2</sup>
Destrucció de la capa d'ozó	kg CFC-11 eq.	2,46 x 10 <sup>-8</sup>	3,44 x 10 <sup>-10</sup>	9,30 x 10 <sup>-9</sup>	3,41 x 10 <sup>-9</sup>
Consum d'aigua dolça	kg aigua eq.	4,52	1,76 x 10 <sup>-2</sup>	9,35	0,360

Aquesta taula recull els valors per cadascun dels indicadors. Pel que fa al cicle de vida de l'**electricitat de la xarxa espanyola**, cal tenir en compte que intervenen les següents fases: generació de l'electricitat amb les diferents tecnologies (hidràulica, nuclear, eòlica, carbó, cicle combinat...), transport i transformació d'alta tensió a mitja tensió i de mitja tensió a baixa tensió, distribució final fins l'usuari final. Com es pot



observar en la taula, la major contribució al indicador d'acidificació són les emissions de SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> de les tecnologies de generació d'electricitat per combustió. El 30% de l'electricitat es genera en centrals tèrmiques de carbó i són responsables del 92% d'aquest impacte. Les tecnologies de generació que requereixen processos de combustió també contribueixen en gran mesura (62%) en el canvi climàtic, així com les que utilitzen recursos no renovables. La contribució a la radiació ionitzant es deu a l'energia nuclear en un 97%. Pel que fa a la formació d'oxidants fotoquímics, altrament les centrals tèrmiques que utilitzen carbó són les responsables majoritàries d'aquest impacte (88%). A més a més, les tecnologies de producció d'electricitat que utilitzen carbó, gas natural i petroli són les de major contribució en l'esgotament dels recursos abiòtics.

Respecte a l'**Energia Solar tèrmica de baixa temperatura**, el cicle de vida de l'energia solar tèrmica té les següents fases: fabricació, instal·lació i operació d'una instal·lació completa d'energia solar tèrmica de baixa temperatura amb 4 m<sup>2</sup> de captadors solars plans i instal·lada en el terrat d'una vivenda. Tots els impactes mostrats en la taula són deguts majoritàriament a la fabricació i muntatge de la instal·lació (ja que el consum d'energia prové del Sol i per tant no hi ha un consum de combustibles gaire alt). Entre els diferents elements de la instal·lació, els captadors solars són els de major impacte (més del 90% en tots els indicadors). Tal com s'observa en la taula amb els valors de color verd, la fase d'operació té un impacte gairebé nul.

Pel que fa a l'**Electricitat d'origen fotovoltaic**, cal tenir en compte que el cicle de vida de l'electricitat d'origen fotovoltaic té les següents fases: fabricació, instal·lació i operació d'una instal·lació completa d'energia solar fotovoltaica connectada a la xarxa de distribució elèctrica de 3 kWp (pc-Si) i instal·lada en el terrat d'una vivenda. En aquest cas, tots els impactes mostrats en la taula també són deguts majoritàriament a la fabricació i muntatge de la instal·lació, mentre que la fase d'operació té un impacte gairebé nul. Entre els diferents elements de la instal·lació, les plaques fotovoltaïques són les de major impacte (més del 95% en tots els indicadors). És especialment destacable el consum d'aigua dolça degut a la indústria del silici, que apareix en la taula amb un valor de 9,35 kg d'aigua equivalent per cada 1kWh d'energia consumit.

Finalment, la **producció de calor a partir de Biomassa**, el cicle de vida dels pelets de biomassa espanyols té les següents fases: secat, trituració, homogeneïtzació i paletitzat de la biomassa, distribució dels pelets fins a l'usuari final i combustió dels pelets. La combustió domèstica de la biomassa representa el 31% de la contribució en l'acidificació, el 50% de l'eutrofització, el 69% de la toxicitat humana, el 17% de la formació d'oxidants fotoquímics. La producció dels pelets contribueix en un 69% a l'acidificació, en un 95% al impacte del canvi climàtic, en un 34% de l'eutrofització, en un 31% de la toxicitat humana, en un 83% de la formació d'oxidants fotoquímics i en el 100% de la radiació ionitzant, de l'esgotament de recursos abiòtics, de la destrucció de la capa d'ozó i del consum d'aigua.

#### c) Interpretació del cicle de vida

En aquest cas, hem pogut comparar 4 sistemes diferents de producció d'escalfor per una llar. Per fer-ho, hem comparat la influència que té cada sistema d'obtenció d'energia per a la llar utilitzant una unitat funcional de 1kWh i un conjunt d'indicadors, cadascun d'ells amb unes unitats pròpies.

Hem observat que el sistema actual de la xarxa elèctrica espanyola és el que té uns índexs més elevats (expressats a la taula en color vermell), mentre que un sistema de captació solar tèrmic és el que té uns índexs més baixos (expressats a la taula en color verd).

Per aquest motiu, hauríem de concloure l'estudi dient que, si tenim en compte tot el cicle de vida del sistema de captació d'energia per escalfar una llar, el sistema amb un menor impacte ambiental és el de l'energia solar fototèrmica.

#### ENLLAÇOS D'INTERÈS

1. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya:

<http://mediambient.gencat.cat/cat/inici.jsp>

2. Grup d'Anàlisi i Gestió Ambiental (AGA), Universitat Rovira i Virgili:

<http://www.etseq.urv.es/aga>

3. Centre de Innovació tecnològica *Simpple*:

<http://www.simpple.com>

4. Xarxa catalana de Anàlisi del Cicle de Vida:

<http://www.acv.cat/>

5. Llibre “El consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda en España. Análisis de ciclo de vida (ACV)”;

Rodrigo, J.; Castells, F. et al; 2008; Fundació Gas Natural ([www.fundaciongasnatural.org](http://www.fundaciongasnatural.org))



## ACTIVITAT 1: LA UNITAT FUNCIONAL I EL REPARTIMENT DE CÀRREGUES AMBIENTALS

Font: Llibre didàctic de l'ACV, Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

**Objectius:** Comprendre el concepte d'unitat funcional i el repartiment de càrregues ambientals entre els diferents productes o processos estudiats.

### Primera part: La unitat funcional

La unitat funcional en un ACV serà la unitat a la qual aniran referides totes les dades del sistema (tant de consums com d'emissions). Aquesta unitat pot ser **de tipus físic**; per exemple en el cas d'avaluar el cicle de vida d'una nevera, es podria agafar com a unitat funcional "una nevera de característiques x". O bé, **de tipus funcional**; per exemple si volem comparar dues pintures d'exterior podríem agafar com a unitat funcional "la quantitat de pintura necessària per mantenir ben pintat 1 m<sup>2</sup> de paret durant 10 anys".

Normalment quan es vol fer algun tipus de comparació (cal tenir en compte que només es podran comparar productes o serveis que compleixin una mateixa funció), és necessari agafar una unitat de tipus funcional, és a dir, que vagi referida a la funció que desenvolupen els productes o serveis a comparar. Llavors els productes o serveis es compararan segons la unitat funcional. En l'exemple de les pintures anomenat anteriorment, no tindria cap sentit agafar com a unitat funcional "100 kg de pintura", ja que potser amb 100 kg de la pintura A s'obtindria millor rendiment que amb la mateixa quantitat de la pintura B (perquè una té més aigua que l'altra, o una necessita menys manteniment que l'altra, etc.). És molt important a l'hora de fer un estudi d'ACV, d'agafar una unitat funcional adequada.

**1.1.-**Una empresa que produeix mistos vol avaluar el impacte ambiental del seu producte. Quina podria ser la unitat funcional de l'estudi?

**1.2.-**Aquesta mateixa empresa vol comparar el impacte ambiental dels mistos que produeix amb el impacte ambiental d'un encenedor. Quina podria ser en aquest cas la unitat funcional?

**1.3.-**A partir de les característiques mostrades en la taula 1, quina pintura (A, B o C) és preferible des d'un punt de vista ambiental si agafem com a unitat funcional 10 m<sup>2</sup> durant 10 anys? Desenvolupa la resposta.

Taula 1	A	B	C
Poder de recobriment (m <sup>2</sup> /kg de pintura)	10	8	6
Capacitat de l'envàs (kg de pintura)	25	50	25
Durada (anys)	2.5	2	2
Preu (euro/kg de pintura)	7.35	6.25	5.30
Escalfament global (kg CO <sub>2</sub> /kg de pintura)	12	10	7

Desenvolupa la resposta:

1.4.-A partir de les característiques mostrades a la taula 2, quin suavitzant (A, B o C) és preferible des d'un punt de vista ambiental agafant com a unitat funcional 100 rentades? Desenvolupa la resposta

Taula 2	A	B	C
Capacitat de l'envàs (litres)	1	4	2.5
Preu (euro / ampolla de suavitzant )	4.35	6.25	5.30
Rentades / litre de suavitzant	10	5	12
Pes de l'envàs (g HDPE* / ampolla)	45	236	185

\* HPDE: polietilè d'alta densitat

Desenvolupa la resposta:

#### Segona part: Repartiment de càrregues ambientals.

S'hauran d'assignar càrregues sempre que un sistema (o subsistema) condueixi a diversos productes (o realitzi diverses funcions) i no tots ells entrin dins els límits de l'estudi, és a dir, que no tots entrin dins de l'abast de l'estudi. En aquests casos s'han de **repartir les càrregues ambientals** del sistema (o subsistema) entre els diferents productes que s'obtenen.

El millor en aquests casos és expandir els límits del sistema estudiat per tal d'incloure-hi tots els productes o funcions. Si no és possible expandir els límits del sistema, o bé aquesta expansió suposa allargar innecessàriament l'estudi, llavors l'assignació de càrregues s'hauria de fer pel principi de causalitat, és a dir, assignar les càrregues al producte que les causa, o bé al producte a causa del qual aquella activitat existeix.

Quan aquest principi no és aplicable, o bé no és prou adequat, es pot fer per altres mètodes com són: la quantitat (massa, molaritat, nombre, etc.), el preu o una combinació d'ambdós.

Per exemple, en el cicle de vida d'una sabata de pell, s'ha d'anar a l'origen de la pell i estudiar els consums i les emissions per a l'engreix de l'animal a la granja i després, els consums i emissions a l'escorxador, etc. A l'escorxador s'obté un producte principal que és la carn i després altres subproductes, entre ells la pell. Seguint el principi de causalitat, s'haurien d'assignar totes les càrregues ambientals de l'engreix i la matança de l'animal a la carn, ja que aquest és el producte que fa que existeixin les granges. De tota manera, la pell és un coproducte de valor econòmic també important i, per tant, es pot pensar en assignar-li la proporció de càrregues ambientals que li corresponen (càrregues ambientals a la granja i a l'escorxador, la causa de les quals sigui la pell). Aquesta assignació de càrregues es pot fer per pes (partint del supòsit que es consumeix el mateix per obtenir 1kg de carn que per 1kg de pell).

**2.1.-**A partir de 5.000 kg de soja es produeixen 1.000 kg d'oli de soja (producte) i 4.000 kg de farina (coproducte).

a) L'assignació de càrregues es fa per pes. Quin impacte s'hauria d'assignar a l'oli i quin a la farina?

--

b) El valor comercial de l'oli és 3 vegades superior al valor comercial de la farina. Realitzant l'assignació de càrregues, segons el valor econòmic, quin impacte ambiental s'hauria d'assignar a cada producte?

--

**2.2.** Una empresa química fabrica tres productes diferents: el producte A, el B i el C. Com assignaries a cadascun dels productes les càrregues ambientals produïdes per la neteja de la instal·lació en cadascun dels casos següents?

Diferents casos:	Càrrega ambiental de cada producte produïda en la neteja de la instal·lació on es fabriquen els productes.
El producte A s'obté en una àrea de la fàbrica, mentre que el B i el C es produeixen simultàniament en una altra.	
Tots tres productes es produeixen en el mateix procés i en la mateixa àrea de la fàbrica, però un d'ells requereix una neteja especial.	
Tots tres productes s'emmagatzemen en el mateix magatzem, però ocupen superfícies diferents.	

## ACTIVITAT 2: ESTUDI D'UN ACV DE L'ENERGIA NECESSÀRIA PER AL TRACTAMENT D'AIGÜES.

**Objectius:** Observar i analitzar una memòria corresponent a un ACV, estudiar les diferents variables que hi intervenen i extreure'n les conclusions pertinents.

En aquest enllaç (<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5502>) trobareu el PDF amb una memòria de Tesina realitzada en la Universitat Politècnica de Catalunya l'any 2008 on es realitza un estudi sota el títol “*Análisis del Ciclo de Vida en la aplicación intensiva de energías renovables en el Ciclo del Agua*”. En aquest estudi es pretén realitzar l'ACV de l'obtenció de l'energia necessària per tractar les aigües en el sistema de subministrament de Barcelona i les seves rodalies.

### 1. Definició dels objectius i abast del ACV.

En aquest treball es plantegen dos escenaris en el subministrament energètic per al tractament d'aigua. Quins dos escenaris són (A i B)? Quines característiques tenen cadascun d'ells?

*Els escenaris es presenten en la pàgina 30 de la memòria.*

Tal i com presentàvem en la sessió 10, per elaborar un ACV cal definir l'objectiu i l'abast de l'estudi. En aquest punt, cal definir una unitat funcional (és a dir, una quantitat de producte de referència) com les que varem estar treballant en la sessió anterior. Quina és la unitat funcional que s'ha triat en l'estudi de l'energia per al tractament d'aigua a Barcelona?

### 2. ICV i AICV.

Més endavant, en l'avaluació de l'impacte del cicle de Vida (*a partir de la pàgina 57 del document*) es desenvolupen les categories que es tindran en consideració per fer l'AICV. Tria una d'aquestes categories, explica-la breument (2 o 3 frases) i digues en quina unitat es mesura. Indica també quin mètode d'obtenció d'energia té un major valor de la categoria triada.

### 3. Interpretació del Cicle de Vida.

Com podràs veure, els resultats es mesuren en Punts ambientals (Pt), com es defineix a la pàgina 59 del document. Quina és l'energia amb un impacte menor? Com ho relaciones amb l'estudi dels elements que intervenen en l'ACV (*podràs trobar aquest estudi a partir de la pàgina 46*).



Contacte:

[www.crecim.cat](http://www.crecim.cat)

